



**RAPPORT DE STAGE DE FIN D'ETUDE**  
**Licence en Sciences et Techniques**  
**Eau et Environnement**  
**LST – EE**

**Evaluation des performances des lignes de déminéralisation des  
eaux brute à Maroc Phosphore (MP1)**

**Application à l'amélioration des eaux déminéralisées produites**

Réalisé par :

**Otmane SAIF EDDIN**

Soutenu, le 19 juin 2015

Encadré par :

**Pr. Yamina BOURGEOINI (FST)**

**Mr. Amine MORCHID (OCP)**

**Devant le jury composé de :**

**Pr. Yamina BOURGEOINI: Faculté des Sciences et Techniques -Marrakech, Encadrante**

**Pr. ELKHAMLI: Faculté des Sciences et Techniques -Marrakech, Examinatrice**

## Remerciements

Au terme de ce stage, je tiens à exprimer ma vive reconnaissance et mon dévouement à Monsieur Ahmed MAHROU, Directeur de Maroc Phosphore Safi.

Je remercie Monsieur Othmane ENNAJI, Chef du service production d'énergie et fluide, et responsable de mon stage pour la qualité d'encadrement et la pertinence de ses conseils tout au long de cette période.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Amine MORCHID, cadre à l'OCP et chef de l'unité de traitement des eaux douce de Maroc phosphore 1, parrain de mon stage, pour le temps qu'il m'a consacré tout le long de cette période, et les réponses à toutes mes interrogations.

Je tiens également à remercier Mlle BOURGEOINI YAMINA, enseignante à la Faculté des Sciences et technique et responsable de la filière EAU ET ENVIRENEMENT pour m'avoir encadré, et pour m'avoir fait partager, ses conseils pédagogiques, et ses connaissances scientifiques et techniques indispensables au bon déroulement du stage. Je le remercie aussi pour sa noblesse, sa générosité, sa grande confiance et autonomie qu'elle a bien voulu me laisser dans l'exécution de mes travaux ainsi que de sa participation au cheminement de la rédaction de ce rapport.

Mes reconnaissances vont également à Mlle KHAMLI NADIA, enseignante a la Faculté des Science et Techniques d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens également à remercier tous les personnels de l'atelier TED pour leur accueil chaleureux et leur esprit coopératif.

Je voudrais remercier également et spécialement tous les membres de ma famille pour leurs encouragements et leurs aides.

Ma profonde gratitude est ainsi adressée à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce présent travail.

# Sommaire

<b>Abreviations.....</b>	<b>1</b>
<b>Listes des figures.....</b>	<b>2</b>
<b>Listes des tableaux.....</b>	<b>2</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>3</b>
<b>Partie I :Generalité sur la production de l'eau à Maroc Phosphore I .....</b>	<b>4</b>
<b>I. Présentation de l'unité de traitement des eaux.....</b>	<b>5</b>
1. Historique de l'unité de traitement des eaux de Maroc Phosphore I .....	5
2. Description de procédé de traitement des eaux de MP1 .....	6
2.1 Unité de décantation.....	7
2.2 Unité de filtration .....	8
2.3 Unité d'eau potable.....	9
2.4 Unité de déminéralisation .....	10
2.5 Unité d'eau de refroidissement.....	14
2.6 Unité de pompage d'eau de mer .....	14
2.7 Résumé.....	16
<b>II. Généralité sur l'eau et ses traitements.....</b>	<b>17</b>
1. Caractéristiques de l'eau.....	17
2. Vocabulaire de l'échange d'ion .....	20
3. Généralités sur les traitements par résine.....	21
4. Système de contrôle de la qualité d'eau produite .....	25
4.1 Analyse d'eau .....	25
4.2 Systèmes de contrôle de la qualité d'eau produite.....	26
5. Matériels et méthodes.....	28
5.1 Données de base .....	28
5.2 Principe de calcul d'un échangeur d'ions.....	29
5.2.1 Elément de calcul d'un échangeur d'ions.....	29
5.2.2 Mise en œuvre .....	29
5.2.3 Calculs d'une installation de déminéralisation .....	30
<b>Parti II : Etude expérimentale.....</b>	<b>31</b>
<b>I. Performance de l'unité de décantation et de filtration.....</b>	<b>32</b>
<b>II. Discussions des résultats.....</b>	<b>33</b>
<b>III. Comparaisons entre les performances des chaînes de déminéralisations.....</b>	<b>34</b>
1. Détermination du volume d'eau et des réactifs de régénération.....	34
1.1 Ligne de déminéralisation Z .....	34
1.2 Ligne de déminéralisation A,B et D .....	36
2. Comparaison des performances des chaînes de déminéralisation .....	38

<b>IV. Actions d'amélioration des performances des chaînes de déminéralisation.....</b>	<b>41</b>
<b>1. Qualité d'eau filtrée.....</b>	<b>41</b>
<b>2. Conditions de régénération.....</b>	<b>42</b>
<b>3. Etat des résines.....</b>	<b>42</b>
<b>4. Elimination du CO2.....</b>	<b>42</b>
<b>V. Méthodes de régénération.....</b>	<b>43</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>44</b>
<b>References bibliographiques.....</b>	<b>45</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>46</b>

## Abréviation

- Af** : Echangeur anionique faible
- AF** : Echangeur anionique fort
- CAG** : Charbon actif granule
- Cp** : Capacité utile
- CF** : Echangeur cationique fort
- CFR** : Régénération à co-courant
- EEM** : Epuration d'Eau de Mer
- LA** : Ligne A
- L RF**: Ligne de refroidissement
- MB**: MEX-BED
- MP1**: Maroc Phosphore 1 Safi
- OCP** : Office Chérifien des Phosphates
- PEM** : Pompage d'Eau de Mer
- RFR** : Régénération à flux inversé
- SAF** : Titre en sels des acides forts
- ST** : Salinité totale
- TA** : Titre alcalimétrique
- TAC** : Titre alcalimétrique complète
- TH** : Titre hydrotimétrique
- TED** : Traitement des Eaux Douce
- VR<sub>A</sub>** : Volume de résine anionique
- VR<sub>C</sub>** : Volume de résine cationique
- WDC** : Eau déminéralisée
- WDS** : Eau désilicée.

## Liste des figures

- Figure 1:** Schéma de l'unité de traitement des eaux de Maroc Phosphore 1
- Figure 2:** L'unité de décantation au Maroc Phosphore 1
- Figure 3 :** Composition d'un filtre gravier
- Figure 4 :** L'unité de traitement des eaux potable au Maroc Phosphore 1
- Figure 5 :** L'unité de déminéralisation au TED de Maroc Phosphore 1
- Figure 6 :** Schéma d'un dégazeur
- Figure 7 :** Installation d'épuration d'eau de mer
- Figure 8 :** Schéma d'un échangeur d'ion
- Figure 9 :** principe de régénération à co-courant
- Figure 10 :** principe de régénération a contre-courant
- Figure 11 :** fuite ionique CFR et RFR

## Liste des tableaux

- Tableau 1:** Granulométrie d'un filtre gravier
- Tableau 2 :** Caractéristiques de l'eau déminéralisée
- Tableau 3 :** Caractéristiques de l'eau sortante d'un échangeur d'anions fortement basique
- Tableau 4 :** Caractéristiques de l'eau désilicée
- Tableau 5 :** Valeur de TH de l'eau
- Tableau 6 :** Valeurs des concentrations des différents anions en fonction du TA et TAC.
- Tableau 7 :** Différents types de squelette et qualités des résines
- Tableau 8 :** Généralité sur les résines échangeur d'ions
- Tableau 9:** Critères de l'eau traitée
- Tableau 10 :** Caractéristiques des agents de régénération
- Tableau 11 :** Analyse chimique de l'eau brute et de l'eau filtrée
- Tableau 12 :** TH, TAC et SAF de l'eau brute et de l'eau filtrée
- Tableau 13 :** Type et volume de la résine des lignes de déminéralisations
- Tableau 14 :** Comparaison des performances des chaînes de déminéralisation des lignes de A, B, D, Z

## *Introduction générale*

Depuis plus de trois décennies, la part des produits dérivés dans le commerce international des phosphates se développe continuellement au détriment de celui du minerai brut. Cette évolution structurelle associée à la volonté d'une valorisation locale, plus importante et plus diversifiée, ont conduit à la mise en place d'une industrie de transformation chimique de grande importance. Ainsi, après une première expérience à Safi, avec la mise en service en 1965 de l'usine Maroc Chimie, des efforts ont été menés depuis le début des années 70, aboutissant à la mise en service de Maroc Phosphore I en 1975 et Maroc Phosphore II en 1981 dans la même ville.

Cette plate-forme est située au sud-ouest à 9 Km de la ville de Safi. Cet emplacement est justifié par deux raisons :

- ✚ La présence d'une voie ferrée permettant l'approvisionnement en phosphate brute de Youssoufia et Ben Guérir ainsi qu'une ligne ferroviaire avec le port de Safi.
- ✚ L'utilisation de l'eau de mer.

**Notre travail intitulé contribue « Evaluation des performances des lignes de déminéralisation des eaux brutes à Maroc Phosphore (MP1). Application à l'amélioration des eaux déminéralisées produites »**

L'unité de traitement des eaux occupe une position stratégique dans le processus de production. Il dispose d'unité de filtration et de déminéralisation de l'eau destinée à produire de l'eau d'appoint nécessaire au fonctionnement des chaudière à vapeur et des unité sulfuriques. Il a pour objectif de :

- 1) Comparer les performances actuelles des chaînes de déminéralisations aux valeurs théoriques.
- 2) Proposer les actions nécessaires pour améliorer la productivité des chaînes de déminéralisation.

Et pour atteindre ces objectifs nous avons adopté la méthode suivante :

- 1) faire une description de l'atelier de traitement des eaux de MP1.
- 2) faire une étude critique de l'installation de la filtration d'eau douce et proposer une action d'amélioration possible en vue d'optimiser la consommation des réactifs de coagulation et de floculation.

# Partie I :

# Généralité sur la production de l'eau à Maroc Phosphore 1

# I. Présentation de l'unité de traitement des eaux

Le complexe Maroc Phosphore (MP1) est alimenté en eau brute à partir d'un barrage situé à 15km du site industriel de SAFI. Le débit d'arrivée de l'eau brute est entre 1000 et 1200 m<sup>3</sup>/h. Cette eau n'est pas directement utilisable car elle contient des impuretés de différentes natures qui peuvent nuire à la bonne marche des équipements de production.

La présence de ces impuretés nécessite un certain traitement plus ou moins poussé de l'eau (décantation, filtration, déminéralisation,...) selon la nature de la fonction qu'elle doit remplir. Ces traitements auront surtout pour but l'élimination des matières en suspension, des substances colloïdales et des matières dissoutes.

L'unité de traitement des eaux douces (TED) doit répondre aux besoins et exigences des différents consommateurs d'eau, tant sur le plan qualité que sur le plan quantité.

L'unité de traitement des eaux douces (TED) doit en effet assurer l'alimentation des unités sulfuriques en eau de process, les chaudières en eau désilicée d'appoint, les ateliers sulfuriques et phosphoriques. Elle joue donc un rôle primordial et vital dans la marche du complexe et dans le processus de production.

## 1. Historique de l'unité de traitement des eaux de Maroc Phosphore I

L'installation de traitement des eaux de Maroc phosphore I était prévue au démarrage en 1976 pour traiter 550 m<sup>3</sup>/h au maximum d'eau filtrée pour faire fonctionner les installations de production du complexe.

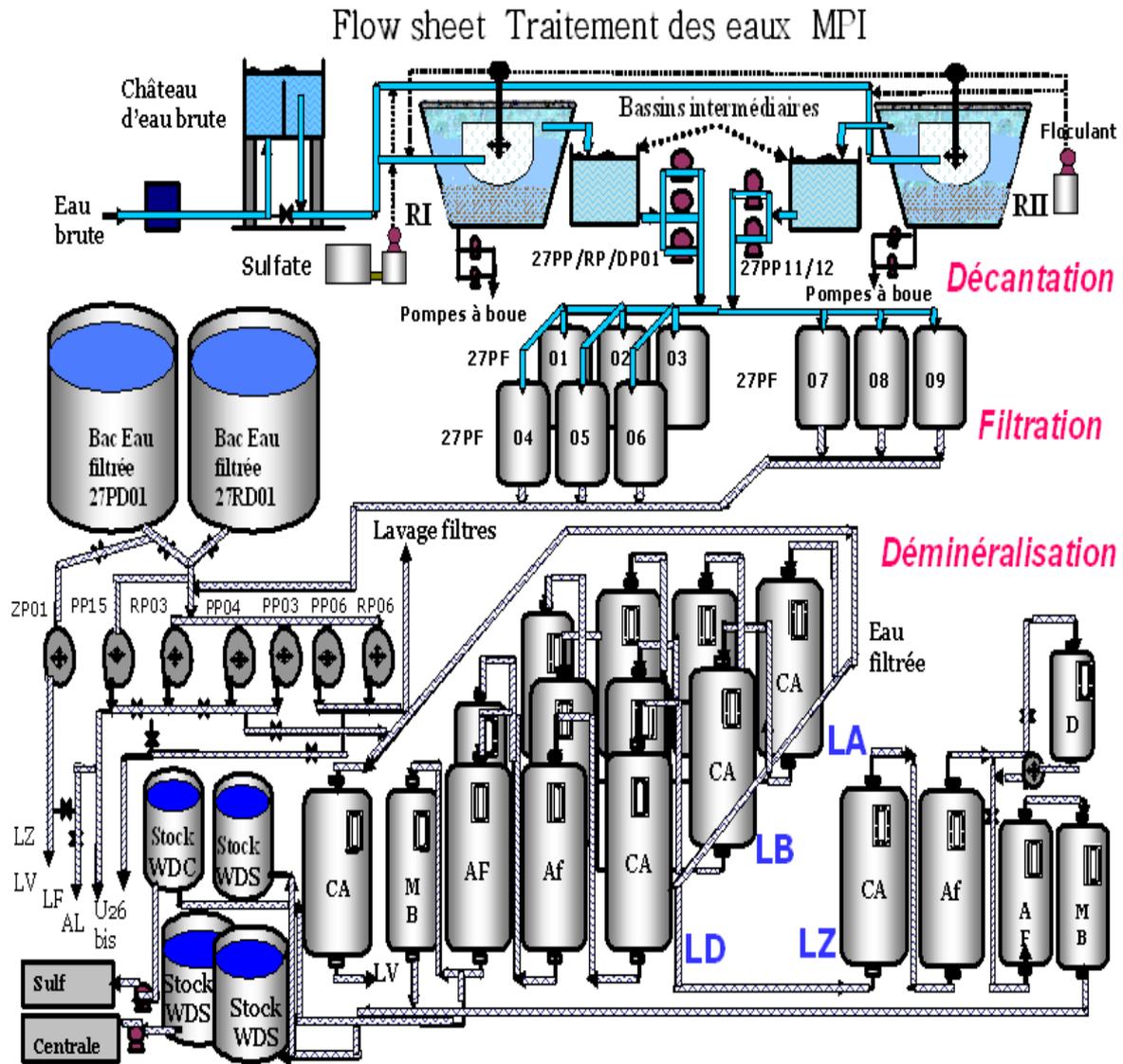
Cette capacité a doublé en 1981 par l'extension du complexe avec le démarrage des installations dites 4<sup>èmes</sup> lignes (Ligne F : sulfurique, phosphorique, Ligne Z du TED). A partir de cette date, TED, devra traiter 1000 m<sup>3</sup>/h d'eau brute pour satisfaire les besoins du complexe.

L'augmentation de la demande en eau déminéralisée ou désilicés a nécessité l'installer d'une nouvelle unité de déminéralisation dite ligne H en 2008, avec une capacité de production de 100 m<sup>3</sup>/h.

## 2. Description de procédé de traitement des eaux de MP1

L'installation de traitement des eaux comporte les unités suivantes :

- ☞ Unité de décantation
- ☞ Unité de filtration
- ☞ Unité d'eau potable
- ☞ Unité de déminéralisation
- ☞ Unité d'eau de refroidissement
- ☞ Unité de pompage d'eau de mer



Source :  
Documentation MP1

Figure 1: Schéma de l'unité de traitement des eaux douces (MP1) de Maroc Phosphore 1

## 2.1 Unité de décantation

L'unité de décantation comporte deux réacteurs décanteurs 27PL01/27PL11, fonctionnant selon le principe à contact de boue.

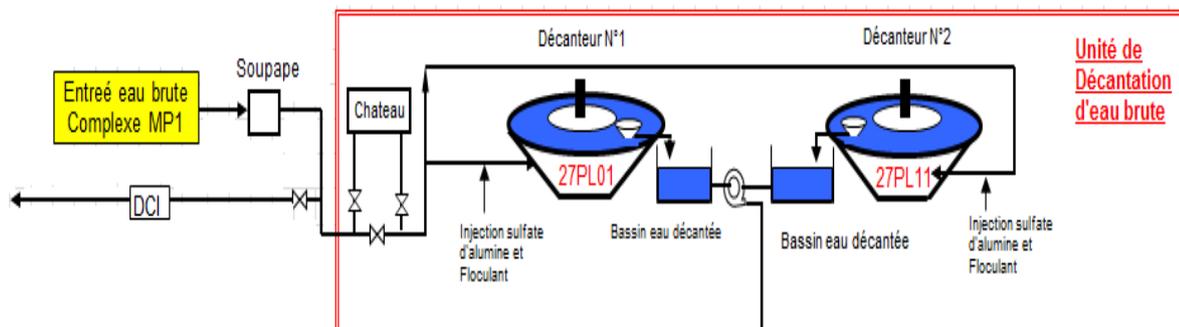


Figure 2: L'unité de décantation au Maroc Phosphore 1

L'eau brute arrivant du barrage traverse l'ouvrage (château) de réglage de pression et alimente les deux réacteurs de capacité chacun de  $500 \text{ m}^3/\text{h}$  où se déroulent les opérations de coagulation floculation, épaissement et contact de boue.

L'injection de sulfate d'alumine et de l'agent de coagulation permet la formation de gros floes des matières colloïdales et finement dispersées dans l'eau brute afin d'accélérer leur sédimentation.

En effet, le sulfate d'alumine  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  a pour rôle de faire coaguler les substances colloïdales (chargées négativement) et de faire précipiter les carbonates de calcium et de magnésium suivant la réaction :



Le flocculant provoque un phénomène d'agrégation des particules déchargées et mise en contact les unes avec les autres pour former des floes qui décantent.

Les boues ainsi, déposées au fond du décanteur sont extraites discontinuellement par des pompes à boue. L'eau décantée, claire, se déverse dans un bassin intermédiaire.

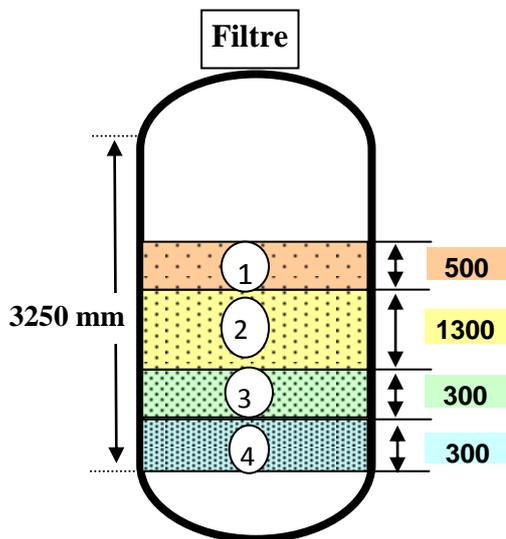
La dose de sulfate d'alumine est comprise entre 10 et 20 mg/l

Les objectifs de cette étape de traitement sont :

- ✓ Elimination presque totale de la turbidité de l'eau brute (< 1mg/l)
- ✓ Réduction de la dureté de l'eau brute (TH) d'environ 1°F
- ✓ Réduction de l'alcalinité de l'eau brute d'environ 20%

## 2.2 Unité de filtration

L'installation dispose de 9 filtres à graviers quartzeux sous pression ayant pour but d'éliminer les matières en suspension non retenues dans le réacteur (Figure 3).



**Tableau 1: granulométrie d'un filtre gravier**

	Ø Granométrie	Volume	Qte
1 Gravier	Ø 5-7 mm	2,4 m <sup>3</sup>	4320 Kg
2 Gravier	Ø 2-3 mm	2,4 m <sup>3</sup>	4320 Kg
3 Gravier	Ø 1-1,8 mm	10,4 m <sup>3</sup>	18720 Kg
4 Hydro anthraute	Ø 1,6-2,5 mm	4,0 m <sup>3</sup>	3140 Kg

**Figure 3 : Composition d'un filtre gravier**

Ces filtres sont alimentés par des pompes centrifuges (Q = 325 m<sup>3</sup>/h, 2,5 bars). Chaque filtre traite 100 m<sup>3</sup>/h d'eau filtrée.

Une fois la pression différentielle atteint 0,3 à 0,4 bars correspondant à une résistance à l'écoulement de l'eau due à la formation de gâteau, le filtre doit être rincé à l'eau filtrée à contre-courant et à l'air fourni par des soufflantes rotatives.

L'eau filtrée produite est stockée dans deux bacs en béton de capacité 2000 m<sup>3</sup> chacun.

Les caractéristiques de l'eau filtrée à la sortie des filtres :

- ✓ Elimination presque totale de la turbidité de l'eau brute (< 1mg/l)
- ✓ Réduction de la dureté de l'eau brute d'environ 1°F
- ✓ Réduction de l'alcalinité de l'eau brute d'environ 20%

## 2.3 Unité d'eau potable

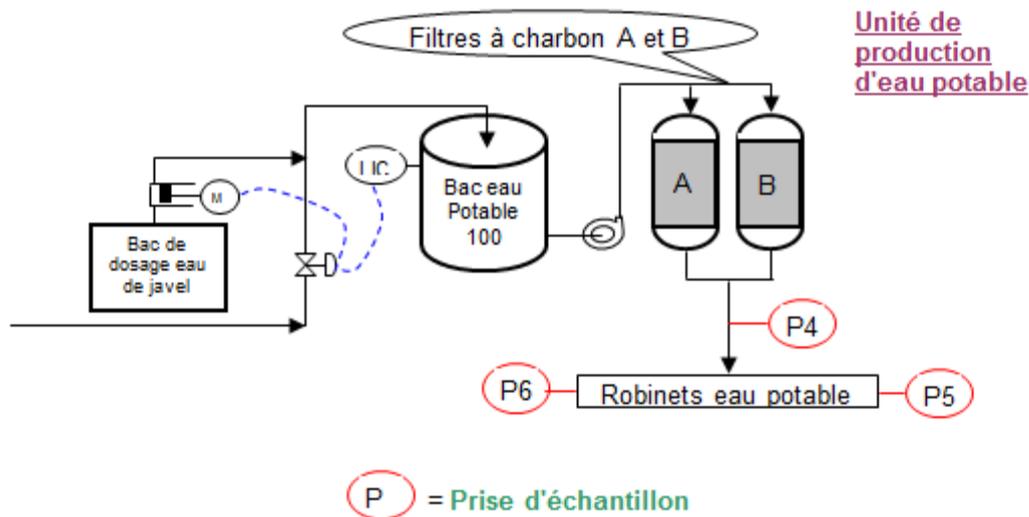


Figure 4 : L'unité de traitement des eaux potable au Maroc Phosphore 1

L'unité d'eau potable comprend (01) bac d'eau filtrée 28DT01 de capacité de 100m<sup>3</sup>, (02) filtres à charbon actif et un poste de dosage d'eau de javel.

L'injection d'eau de javel se fait dans le bac d'eau filtrée 28DT01 par une pompe de dosage asservie avec la vanne d'admission d'eau filtrée.

Les filtres à charbon actif sont conçus pour éliminer l'odeur de l'eau de javel, les matières organiques et l'excès de chlore libre.

L'eau sortante des filtres à charbon actif est dite potable, sa teneur en chlore libre doit être inférieure à 1 mg/l.

## 2.4 Unité de déminéralisation

L'atelier de traitement des eaux de Maroc Phosphore I dispose d'un poste de déminéralisation totale destiné principalement à la production de l'eau désilicée nécessaire à la marche du complexe. L'eau désilicée est utilisée comme eau d'appoint pour l'alimentation des chaudières de l'atelier sulfurique et des chaudières à Fuel.

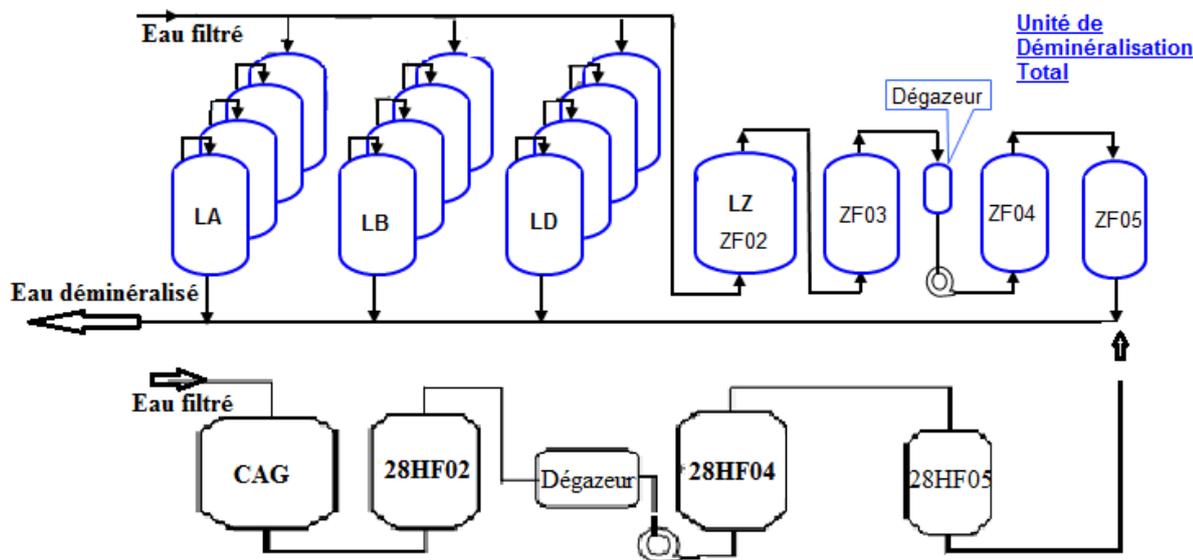


Figure 5 : L'unité de déminéralisation au TED de Maroc Phosphore 1

L'unité 28 est composée de 5 lignes dont 3 sont identiques A, B et D (Figure 5) fonctionnant selon le procédé à lit fixe. La quatrième ligne Z utilise le principe du lit flottant, et la cinquième ligne H à lit flottant, où elles sont libérées par échange ionique avec la résine des sels dissous dans l'eau.

Ce procédé, dit déminéralisation totale se fait en quatre étapes :

- ☞ Etage 1 : Echangeur d'ions cationique 28 AF/BF/DF/ZF/HF 02
- ☞ Etage 2 : Echangeur d'ions anionique faible 28 AF/BF/DF/ZF/HF 03
- ☞ Etage 3 : Echangeur d'ions anionique fort 28 AF/BF/DF /ZF/HF 04
- ☞ Etage 4 : Echangeur à lit de mélange (résine fortement basique et résine fortement acide) 28 AF/BF/DF/ZF/HF 05.

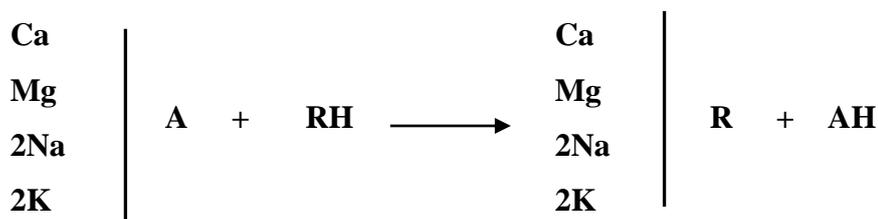
Chaque ligne se compose de quatre échangeurs d'ions en série avec un dégazeur atmosphérique pour la ligne Z.

Signalant aussi que la ligne H se compose de quatre échangeurs d'ions en série avec un filtre en charbon actif granulé (CAG), un dégazeur atmosphérique, et un piège de résine (Figure 5)

Ce dégazeur est inséré entre l'anionique faible et fort, il est chargé d'éliminer une partie du CO<sub>2</sub> présent dans l'eau avant son passage vers l'anionique fort. Le dégazage est réalisé par insufflation d'air à travers l'eau.

#### A/ Un échangeur de cations (CF) (figure 5)

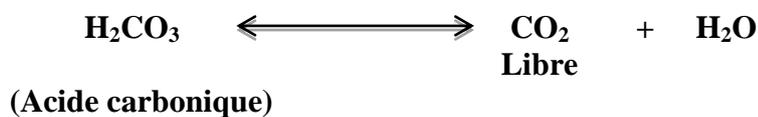
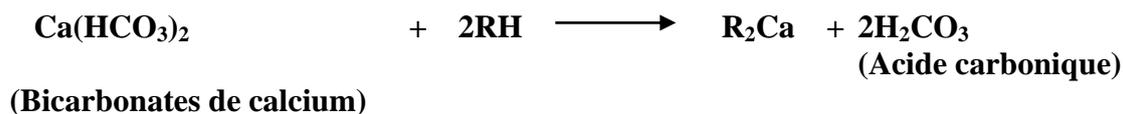
Il contient une résine fortement acide, chargé d'éliminer tous les cations contenus dans l'eau (calcium, magnésium, sodium, potassium,..) en permutation avec des ions H<sup>+</sup> de la résine.



A : représente les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), les chlorures (Cl<sup>-</sup>) et les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) présents dans l'eau avec le calcium, magnésium, sodium ou le potassium.

RH : représente le matériau d'échange (résine) dont l'ion échangeable est l'ion hydrogène (H<sup>+</sup>).

Lorsque l'hydrogène remplace les cations de l'eau, il se forme des acides très dilués et les bicarbonates donnent naissance à de l'acide carbonique qui se transforme ensuite en gaz carbonique ou CO<sub>2</sub> libre.

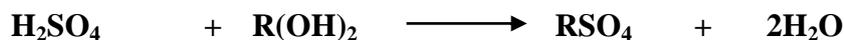


L'eau sortante du cationique est dite débasée. Elle a les caractéristiques suivantes :

- ✓ TH = 0 °F
- ✓ pH = 3 à 4
- ✓ TAC = 60 à 70 °F

## **B/ Un échangeur d'anions faiblement basique (Af)** (Figure 5)

Il assure la permutation de tous les anions des acides forts ( $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) contenus dans l'eau avec des ions  $\text{OH}^-$  de la résine :



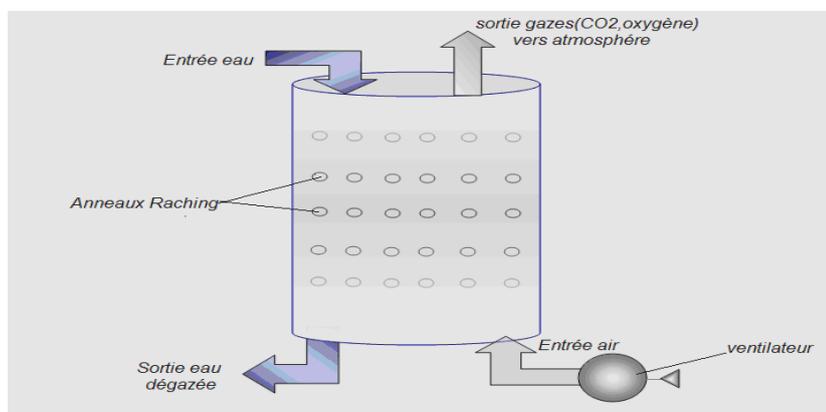
L'eau sortante de cet étage (chaîne primaire) est dite déminéralisée. Elle a les caractéristiques suivantes :

**Tableau 2 : caractéristiques de l'eau déminéralisée**

TH = 0 °F	pH = 5,5 à 7,5
TAC = 0 °F	Conductivité $\mu < 30 \mu\text{s/cm}$

## **C/ Un dégazeur atmosphérique** (Figure 5)

Le dégazeur est un éliminateur à contre-courant chargé d'une masse de contact constituée d'anneaux. Il est basé sur le principe du dégazage à froid à double effet, le premier effet est une séparation mécanique qui permet d'atteindre la solubilité Blank par simple pulvérisation. Le second effet est une diffusion gazeuse par stripping à l'air au travers de la masse de contact.



**Figure 6 : Schéma d'un dégazeur**

### ✓ **Principe de fonctionnement de dégazeur :**

Dans un premier temps on injecte l'eau provenant d'échangeur cationique à travers un piège à résine dans le dégazeur qui le reçoit à travers un collecteur placé en haut du cylindre du dégazeur. L'opération de dégagement de gaz est assurée par un ventilateur en bas de la tune vise.

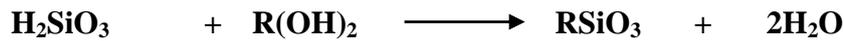
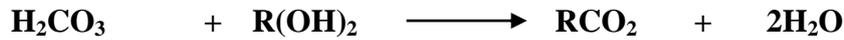
L'élimination de gaz carbonique et l'oxygène qui présents dans l'eau sont des agents de corrosion très actifs vis-à-vis de résine qui sera traduit comme un travail de plus au niveau des mixed-Bed.

L'équation de formation de cet acide est :



**D/ Un échangeur d'anions fortement basique (AF)** (figure 5)

Il capte les anions des acides faibles tels que  $\text{CO}_3^{--}$  et  $\text{SiO}_3^{--}$  :



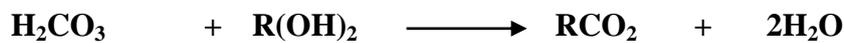
Les caractéristiques de l'eau sortante de cet étage sont regroupées dans le tableau ci-dessous:

**Tableau 3 : Caractéristiques de l'eau sortante d'un échangeur d'anions fortement basique**

TH = 0 °F	pH = 5 à 11
TAC = 0 °F	Conductivité $\mu < 30 \mu\text{s/cm}$

**E/ Un échangeur à lit de mélange (mixed-bed)** (figure 5)

Il contient un mélange d'une résine fortement acide et une résine fortement basique. Il est chargé d'assurer la finition de la déminéralisation totale de l'eau destinée à l'alimentation des chaudières.



L'eau sortante de cet étage (chaîne secondaire) est dite désilicée. Elle a les caractéristiques suivantes :

**Tableau 4 : caractéristiques de l'eau désilicée**

TH = 0 °F	$\text{SiO}_2 < 0,02 \text{ mg/l}$
TAF = 0 °F	pH = 6,5 à 7,5

## 2.5 Unité d'eau de refroidissement

La boucle de réfrigération est un circuit fermé d'eau douce filtrée avec réfrigérant (eau de mer/eau filtrée), elle a pour but de refroidir les équipements suivants:

- ⊕ Les réfrigérants d'huile des groupes turboalternateurs de la centrale thermique,
- ⊕ les réfrigérants d'huiles des turbosoufflantes des lignes sulfuriques,
- ⊕ les réfrigérants d'huile des broyeurs,
- ⊕ les réfrigérants d'huile des compresseurs d'air.

L'unité de refroidissement d'eau douce est constituée par :

- ☞ Quatre pompes de circulation
- ☞ Quatre échangeurs tubulaires avec deux passes
- ☞ Un poste de dosage de l'inhibiteur de corrosion

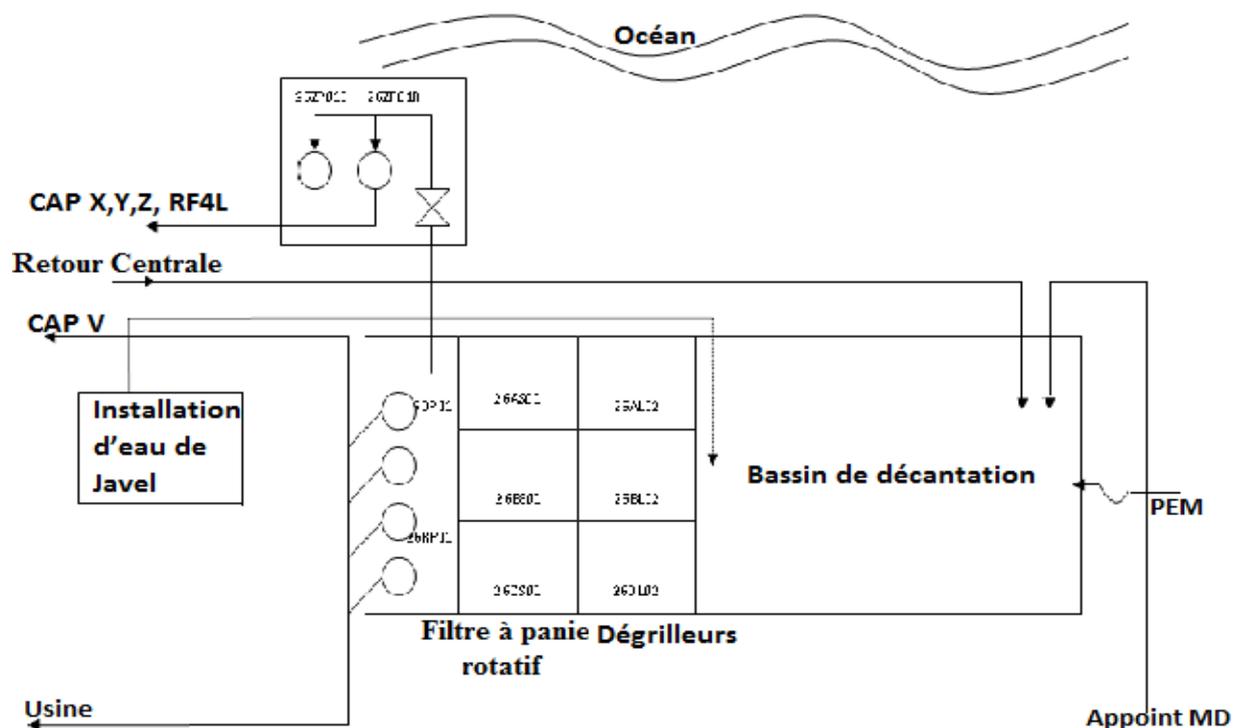
Pour refroidir le débit d'eau filtrée circulante dans la boucle qui est de 530 m<sup>3</sup>/h de 30°C à 24°C la surface d'échange installée est de 480 m<sup>2</sup>, soit 4 échangeurs tubulaires de 120 m<sup>2</sup> chacun.

## 2.6 Unité de pompage d'eau de mer

La station d'épuration d'eau de mer (EEM) de MPI a pour but le traitement de l'eau de mer reçue du l'unité de pompage d'eau de mer (PEM) et de la livrer aux différents consommateurs du complexe. Pour cela, la station dispose principalement :

- d'un bassin de forme rectangulaire (32m × 10m) et de 4,4 m de profondeur. La longueur du bassin est suffisante pour permettre la décantation du sable transporté par l'eau provenant du PEM. Le niveau du débordement du bassin est à 14,90 NGM. L'eau de mer arrivant au bassin de décantation provient de 3 sources : la station de PEM, la centrale de MPI (eau recyclée), la centrale de MPII via la laverie (eau recyclée).
- d'un ensemble de 3 dégrilleurs destinés à retenir les corps étrangers transportés par l'eau de mer.
- d'un ensemble de 3 filtres à paniers rotatifs destinés à retenir, par tamisage de l'eau de mer, les particules de faibles dimensions.
- d'un ensemble de 4 pompes d'eau de mer verticales (HALBERG) de débit unitaire 6000 m<sup>3</sup>/h, entraînées par des moteurs 6KV, dont une de réserve. L'eau de mer pompée est distribuée aux consommateurs par un réseau commun alimentant l'ensemble du complexe à part la 4<sup>ème</sup> ligne RF et les CAP X, Y, Z.

- d'un ensemble de 2 pompes surpresseuses 6KV, de débit unitaire 2500 m<sup>3</sup>/h, dont une de réserve, alimentant la 4<sup>ème</sup> ligne RF et les CAP X,Y,Z par un réseau à part.
- d'une installation d'injection d'eau de Javel en vue du traitement de l'eau de mer contre la prolifération des bactéries, algues et mollusques.



**Figure 7 : INSTALLATION D'EPURATION D'EAU DE MER**

En résumé nous pouvons retenir :

L'installation de traitement des eaux douces de Maroc Phosphore I, conçu, en 1976, pour alimenter les différentes unités du complexe en eau de différentes qualités :

- ☞ Alimentation des unités phosphoriques en eau filtré
- ☞ Alimentation des unités sulfuriques en eau déminéralisée
- ☞ Alimentation des chaudières en eau désilicée d'appoint
- ☞ Production d'eau potable, ect...

Cependant, la consommation des différentes eaux a dépassé de loin ce qui était prévue. Plusieurs actions ont été prises :

- ⊕ Alimentation des ateliers phosphoriques en eau brute d'un complément d'environ 300 m<sup>3</sup>/h,
- ⊕ valorisation des effluents TED par recyclage vers les ateliers phosphoriques,
- ⊕ alimentation des ateliers sulfuriques par l'eau filtré et réserver les chaînes de déminéralisation pour produire uniquement de l'eau désilicée,
- ⊕ installation d'un échangeur cationique identique à ceux des lignes A, B et D. Cet échangeur est destiné à produire l'eau débasée nécessaire aux régénérations des 4 chaînes,
- ⊕ installation d'une unité de déminéralisation dite ligne H en 2008, avec une capacité de production de 100 m<sup>3</sup>/h.

## II. Généralités sur l'eau et ses traitements

### 1. Caractéristiques de l'eau

La compréhension des divers traitements de l'eau nécessite une connaissance sommaire de la chimie de l'eau. Le choix du type de traitement à faire subir à l'eau d'appoint peut aller du simple conditionnement jusqu'à la déminéralisation totale permettant de fournir une eau de haute pureté avec une teneur en silice  $\text{SiO}_2$  de quelques microgrammes/litre.

Ainsi, trois facteurs détermineront le mode de traitement pour l'eau d'appoint : la dureté, l'alcalinité et la teneur en silice.

#### ➤ Dureté de l'eau

Le titre hydrotimétrique (T.H.), ou dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium.

La dureté s'exprime en mg/l de  $\text{CaCO}_3$  ou en degré français (symbole °f ou °fH).

1 degré français correspond à  $10^{-4}$  mol/L, soit 4 milligrammes de calcium ou 2,4 milligrammes de magnésium par litre d'eau.

**Tableau 5 : Valeur de TH de l'eau**

Plage de valeurs du titre hydrotimétrique :					
TH (°f)	0 à 7	7 à 15	15 à 25	25 à 42	supérieur à 42
Eau	très douce	Douce	moyennement dure	Dure	très dure

## ➤ Le titre alcalimétrique (TA, TAC)

Ces deux valeurs permettent de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau, d'autre façon l'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et hydroxydes.

Indépendamment des difficultés qu'il peut y avoir pour l'opérateur à apprécier le virage de l'indicateur, l'emploi de la méthode volumétrie que doit être évite en présence de substances telles que les acides humiques, les phosphates, les tartrates, etc... qui retardent le virage. La méthode potentiomètre est recommandée dans le cas des eaux troubles et colorées et en présence de matières en suspension.

L'alcalinité se mesure à l'aide d'une solution étalon d'acide fort en présence d'indicateurs colorés de pH :

- ✳ La phénophtaléine pour le TA, virant du rouge à l'incolore à un pH de 8,3.
- ✳ L'hélianthine pour le TAC, virant du jaune à l'orangé à un pH de 4,3.

Le TA dose la totalité des hydroxydes et la moitié des carbonates qui sont alors entièrement transformés en bicarbonates à un pH de 8,3.

Le TAC correspond à la totalité des bicarbonates et des carbonates.

Donc on peut dire que :

- ⊕ Le titre alcalimétrique ou T.A mesure la teneur en alcalis libres ( $\text{OH}^-$ ) et en carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ )
- ⊕ Le titre alcalimétrique complet ou T.A.C mesure la somme des alcalis libres, des carbonates et des bicarbonates.

L'unité de mesure du titre alcalimétrique et le titre alcalimétrique complet est le degré français (symbole °f ou °fH).

Ce tableau résume les valeurs des concentrations des différents anions en fonction du TA et TAC.

**Tableau 6 : Valeurs des concentrations des différents anions en fonction du TA et TAC.**

Alcalinité (°f)	Hydroxyde (°f)	Carbonate (°f)	Bicarbonate (°f)
<b>TA = 0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>TAC</b>
<b>TA &lt; TAC/2</b>	<b>0</b>	<b>2TA</b>	<b>TAC - 2TA</b>
<b>TA = TAC/2</b>	<b>0</b>	<b>2TA</b>	<b>0</b>
<b>TA &gt; TAC/2</b>	<b>2TA - TAC</b>	<b>2 (TAC - TA)</b>	<b>0</b>
<b>TA = TAC</b>	<b>TA</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

➤ **La salinité de l'eau**

La salinité totale de l'eau (ST) est égale à la somme des anions ou des cations.

Titre en sels des acides forts. (SAF)

Dans les eaux naturelles, il n'y a pas d'acides forts libres, ne sont présents que des sels de ces acides, surtout sulfates et chlorures. La somme des ions  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{NO}_3^-$  contenu dans l'eau brute est appelée SAF.

L'unité de mesure de la salinité de l'eau est le degré français (symbole °f ou °fH).

$$\text{SAF} = [\text{SO}_4^{-2}] + [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-]$$

## 2. Vocabulaire de l'échange d'ion

✚ **Cycle** : Un cycle complet comprend 4 phases :

- ☞ La **saturation** ou **production** : la solution passe à travers le lit de la résine jusqu'à saturer cette dernière. Au point de percement ou lorsque la valeur limite de la fuite est atteinte, on arrête la phase de production.
- ☞ Le **soulèvement** : cette phase permet d'éliminer les particules qui ont pu se déposer à la surface du lit à l'aide d'un courant d'eau ascendant.
- ☞ La **régénération** : elle se fait par introduction de la solution régénérant par percolation (ascendante dans le cas d'un **contre-courant**, descendante dans le cas d'un **co-courant**).

Les colonnes peuvent être utilisées pour des régénérations soit à co-courant soit à contre-courant. Dans le cas d'une régénération à co-courant, la solution régénérant est mise du même côté que la solution à traiter. Cette technique est la moins chère des deux en termes d'investissement initial. Mais la technique à contre-courant utilise plus efficacement les produits chimiques régénérant, de plus les fuites sont plus importantes avec une technique à co-courant.

- ☞ Le **rinçage** : pendant cette phase, on déplace le régénérant à l'eau, à faible débit, jusqu'à ce que la résine ne contienne plus que de faibles traces de régénérant : phase de rinçage lent. Puis il y a une étape de rinçage rapide à débit plus élevé de façon à éliminer les dernières traces de régénérant.

✚ **Elution**: c'est l'opération qui consiste à remplacer un ion par un autre de densité de charge et de concentration plus élevé.

✚ **Capacité de rétention**: c'est le nombre de mmol d'ions que la résine peut échanger par unité de masse. On l'exprime par gramme de résine sèche.

✚ **Volume du lit**: volume par heure de liquide qui peut être traité / volume de résine.

✚ **Flux d'ions**: Volume du lit \* salinité de l'eau.

✚ **Niveau de régénération**: poids de réactifs utilisés / volume du matériau échangeur d'ions.

✚ **Taux de régénération**:  $100 * (\text{équivalent-gramme de réactifs régénérés}) / (\text{équivalent-gramme d'ions ayant été élués})$

✚ **Attrition**: c'est l'abrasion due aux frottements entre les billes de résine.

✚ **Stabilité mécanique** : c'est l'aptitude d'une résine à supporter :

- ☞ la compression due aux pertes de charge (les résines anioniques sont plus sensibles que les résines cationiques)

- ☞ l'abrasion due aux frottements entre les billes de résine encore appelée attrition.

### 3. Généralités sur les traitements par résine

L'échange d'ions sur un matériau solide consiste à remplacer en nombre de charges équivalent, par permutation, des ions présents dans une solution par d'autres ions fixés sur la résine. Un échangeur d'ions est un matériau organique ou minéral insoluble sur lequel peuvent être fixés des ions à échanger.

De nombreux composés naturels ont montré des propriétés échangeuses d'ions: argiles, acides humiques, silico-aluminates, zéolithes, sols, complexes argilo-humiques, boues et sédiments. À l'échelle industrielle, les échangeurs d'ions les plus répandus sont des résines de synthèse.

Les réactions d'échange d'ions sont sélectives et réversibles. Elles peuvent donc être décrites à l'aide d'une loi d'action de masse et être caractérisées par une constante thermodynamique  $K$ : la constante d'échange ou de sélectivité.

Les réactions d'échanges d'ions se déroulent jusqu'à ce que les concentrations des divers ions atteignent un équilibre des concentrations, défini par la constante d'équilibre  $K$ . Cette constante dépend de la nature des ions échangés, de la température et de la concentration pour des ions de valences différentes pour une résine donnée.

**Les résines échangeuses d'ions** synthétiques sont obtenues par polymérisation de divers monomères (styrène, acrylate, etc.) dont les chaînes peuvent être liées entre elles par un agent réticulant comme, par exemple, le divinylbenzène dans les résines polystyréniques et sur lesquels des groupes fonctionnels tels que les acides sulfoniques, carboxyliques et les ammoniums quaternaires peuvent être greffés.

La réticulation, permet la formation du squelette de la résine et l'obtention d'un matériau présentant une variabilité de résistance mécanique selon le taux de réticulation. La réticulation modifie également la cinétique d'échange et la sélectivité. Elle doit être calculée de manière à obtenir une stabilité mécanique et chimique de la résine tout en lui assurant les propriétés attendues sur le plan de l'échange d'ions. Le matériau ainsi produit est encore inerte et se présente sous forme de particules sphériques. Selon sa structure, il sera classé en:

- ☞ Résine de type gel (porosité moyenne de 4 nm) ;
- ☞ Résine macroporeuse (porosité moyenne de 130 nm).

**Tableau 7 : Différents types de squelette et qualités des résines**

Type de Squelette	Type de résine	Qualités particulières
Polystyrène	Gel (les plus anciennes et les plus courantes)	✓ Capacité d'échange élevée.
	Macroporeuse	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Capacité d'échange plus faible que les gels,</li> <li>✓ Grande longévité,</li> <li>✓ Capacité de fixation de grosses molécules,</li> <li>✓ Cinétique d'échange plus élevée que les gels.</li> </ul>
Polyacrylate	Gel Macroporeuse	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Très grande résistance à l'empoisonnement par des molécules organiques,</li> <li>✓ Excellente stabilité mécanique.</li> </ul>

Une résine est activée par le greffage de divers groupements fonctionnels et les ions pouvant être échangés sur la résine dépendent de la nature des groupements fonctionnels greffés. Ainsi, pour une même résine support, il sera possible d'obtenir des résines échangeuses de cations ou échangeuses d'anions.

Pour des résines acides fortes (sulfoniques), la fixation est purement électrostatique et les distances de liaison sont indéterminées. Les ions fixés peuvent donc occuper plusieurs charges (ex: l'ion calcium occupe 2 charges).

Par contre, pour des résines acides faibles pour lesquelles il s'agit de liaisons covalentes, la distance de la liaison est fixe, l'ion ne peut pas se fixer sur 2 charges à la fois pour des raisons d'encombrement stérique. Dans le cas du calcium, par exemple, la stœchiométrie est de 1:1. En réalité et pour une eau chargée en hydrogencarbonate de calcium,  $\text{Ca}(\text{CO}_3)\text{H}^+$  est fixé. Il s'agit donc non seulement de décarbonatation mais également d'adoucissement.

Sur des résines échangeuses d'anions, des complexes métalliques anioniques ( $\text{FeCl}_6^{3-}$ ,  $\text{CdCl}_4^{2-}$ ) peuvent se fixer avec des coefficients de partage qui peuvent être plus élevés que ceux obtenus avec des résines complexantes.

**Tableau 8 : Généralité sur les résines échangeur d'ions**

Type de résine	Groupe Fonctionnel (échangeur d'ions)	Utilisation (et domaine de pH Indicatif de travail)	Capacité d'échange (ég.l <sup>-1</sup> de résine)		Réactifs de régénération	Sélectivité
			Gel	Macro Poreux		
<b>Fortement acide CF (cations forts) :</b> $\text{H}^+ \ll \text{Mn}^+$ Les ions $\text{H}^+$ sont moins bien fixés que tous les autres cations.	Sulfonique : $-\text{SO}_3^-(\text{H})$	Adoucissement (1 – 13)	1,4 à 2,2	1,7 à 1,9	Acide fort : 2 à 3 fois la quantité Stœchiométrie -que (HCl ou $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ou saumure de NaCl)	Tous les cations.
<b>Faiblement acide CF (cations faibles) :</b> $\text{H}^+ \gg \text{Mn}^+$ Les ions $\text{H}^+$ sont mieux fixés que tous les autres cations.	Carboxylique : $-\text{COO}^-(\text{H})$	Décarbonatation Fixation de la dureté carbonatée Élimination de métaux lourds (4 – 13)	3,5 à 4,2	2,7 à 4,8	Acide faible : pas d'excès (HCl, $\text{H}_2\text{CO}_3$ ou $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	Préférence pour les cations polyvalents
<b>Fortement basique AF (anions fort):</b> $\text{OH}^- \ll \text{Am}^-$ Les ions $\text{OH}^-$ sont moins bien fixés que tous les autres	Ammonium quaternaire Type 1: $-\text{N}(\text{CH}_3)^{3+}$	Déminéralisation totale : fixation de tous les anions et du $\text{CO}_2$ quand la résine est utilisée en cycle hydroxyde (1-12)	1,2 à 1,4	1,0 à 1,1	Base forte : 2 à 3 fois la quantité Stœchiométrie -que (lessive de soude ou saumure de	Tous les anions d'acides faibles et forts

<b>anions.</b>		Désacidification, désanionisation, adsorption d'acides organiques, élimination d'anions spécifiques (nitrates, arséniates)			NaCl)	
	Ammonium quaternaire <sup>2</sup> (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> OH)N <sup>+</sup> - I (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Déminéralisation totale : (1 – 12) Meilleure capacité d'échange que le Type 1, mais résistance chimique plus faible.	1,3 à 1,5	1,1 à 1,2		
<b>Faiblement basique AF (anions faibles) : OH<sup>-</sup>&gt;&gt; Am<sup>-</sup> Les ions OH<sup>-</sup> sont mieux fixés que tous les autres anions.</b>	-N <sup>+</sup> -(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> I (OH)	Selon le groupe amine fixé, 3 types de résines : -primaire, -secondaire -ou tertiaire (1 – 4)	1,4 à 2	1,2 à 1,5	Base Faible : 1 à 1,5 fois la quantité stœchiométri- que	Préférence pour les anions d'acides forts

## 4. Système de contrôle de la qualité d'eau produite

### 4.1 Analyse d'eau

Les calculs d'installations de traitement d'eau par échangeurs d'ions font appel à un certain nombre de notions simples concernant la composition de l'eau à traiter.

#### 4.1.1 Unités

Les concentrations ioniques se mesurent habituellement en équivalents par litre (éq/L) et en milliéquivalents par litre (méq/L) avec  $1 \text{ méq} = 10^{-3} \text{ éq}$ . On trouve aussi les unités suivantes :

- ✱ Le degré français :  $1^\circ \text{ f} = 0,2 \text{ méq/L}$  ;
- ✱ Le degré allemand :  $1^\circ \text{ dH} = 0,357 \text{ méq/L}$ , qui correspond à 0 mg de  $\text{CaCO}_3$  par litre.

Signalons également les équivalences suivantes :

- ✱ 1 g de  $\text{CaCO}_3$  par litre  $\Leftrightarrow 0,02 \text{ éq/L}$  ;
- ✱ 1 mg de  $\text{CaCO}_3$  par litre  $\Leftrightarrow 0,02 \text{ méq/L}$  ;

#### 4.1.2 Éléments de l'analyse d'eau

Pour les calculs d'échange d'ions, il est nécessaire de connaître la composition exacte de la solution à traiter. En traitement d'eau, les ions que l'on rencontre habituellement sont :

- ⊕ Les cations :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$
- ⊕ Les anions:  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$

D'autres ions peuvent être présents ( $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ), mais leur concentration dans les eaux naturelles est le plus souvent très basse. Bien évidemment, l'équilibre ionique exige que la concentration totale des cations soit égale à la concentration totale des anions.

Les ions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  sont regroupés sous le nom de dureté, mesurée par le titre hydrotimétrique TH (en méq/L).

Les ions  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  sont regroupés sous le nom d'alcalinité totale, mesurée par le titre alcalimétrique complet TAC (en méq/L).

Dans les cas, assez fréquents, où  $TH > TAC$ , on appelle dureté permanente la valeur  $TH - TAC$  et dureté temporaire, dite aussi dureté carbonatée, la valeur  $TAC$  qui représente la partie de la dureté liée à l'alcalinité. Dans les cas où  $TH < TAC$ , il n'y a pas de dureté permanente, mais seulement de la dureté temporaire.

On appelle alcalinité caustique mesurée par le titre alcalimétrique  $TA$  la concentration en ions  $OH^-$  et  $CO_3^{=}$  pour les eaux de pH alcalin.

Les ions  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$  et  $SO_4^{=}$  sont regroupés sous le nom de SAF (sels d'acides forts). La salinité totale  $ST$  est la somme des cations et anions présents dans la solution. En outre, il convient de connaître les concentrations des substances non ionisées :  $SiO_2$  et  $CO_2$  libre, et aussi la quantité de matières organiques présentes dans l'eau à traiter, le plus souvent exprimée en masse de permanganate de potassium nécessaire pour oxyder ces substances (unité : mg de  $KMnO_4/L$  solution), qui conditionne le choix des échangeurs d'anions.

## **4.2 Systèmes de contrôle de la qualité d'eau produite**

La qualité d'eau produite par une installation doit être contrôlée. Dès que cette qualité devient inférieure à une limite fixée à l'avance, on arrête la phase de production et l'on commence la régénération. Nous allons décrire brièvement les instruments de mesures utilisés pour ce contrôle.

### **4.2.1 Horloges**

Pour les adoucisseurs domestiques, on suppose une consommation journalière constante d'eau adoucie (par exemple 200 L d'eau par personne) et l'adoucisseur est réglé pour une régénération à intervalles fixes, par exemple tous les trois jours. Une horloge déclenche automatiquement la régénération. On peut varier la durée du cycle en fonction de l'utilisation régulière d'eau adoucie.

Cette méthode est simple et sûre, mais peu économique, car la régénération est toujours déclenchée avant que l'adoucisseur ne soit saturé.

### **4.2.2 Contrôle volumétrique**

Dans les collectivités ou les blanchisseries, où l'on veut une méthode moins onéreuse et plus souple, on installe un compteur avec un contact qui déclenche la régénération dès qu'un volume d'eau donné est passé. Ce système est précis tant que la qualité de l'eau à traiter ne varie pas.

### 4.2.3 Mesure automatique de la dureté

On peut installer à la sortie de l'adoucisseur un analyseur colorimétrique de dureté, qui déclenche la régénération dès que la fuite tolérée est atteinte. Ce système évite tout gaspillage de régénérant, mais l'appareil de mesure est cher. Il n'est donc utilisé que pour des installations industrielles de grande taille.

### 4.2.4 Conductimètres

Les déminéraliseurs sont normalement asservis par une mesure de conductivité électrolytique. Des instruments simples et fiables peuvent être installés pour déclencher la régénération quand la conductivité de l'eau traitée dépasse  $0,5 \mu\text{S}/\text{cm}$  pour des lits mélangés, ou  $15 \mu\text{S}/\text{cm}$  pour des chaînes à deux filtres. Un problème se pose, dû à la silice qui n'a pas de conductivité mesurable. Une solution relativement sûre, et souvent utilisée, consiste à placer une sonde de conductivité à un point situé au-dessus de la base du lit, calculé de telle sorte que le front de chlorures qui descend dans le lit atteigne la position de la sonde avant que le front de silice n'atteigne le fond. Cette méthode n'est toutefois pas suffisamment fiable pour l'eau des chaudières à haute pression, pour lesquelles l'absence de silice est capitale.

### 4.2.5 Silicomètres

Ce sont des cellules colorimétriques automatiques fonctionnant comme les détecteurs de dureté et qui analysent habituellement de l'eau provenant d'une prise d'échantillon située au-dessus du fond, pour garantir qu'aucune trace de silice ne sort de l'unité.

### 4.2.6 Conductivité différentielle

Pour le contrôle des échangeurs d'ions en cycle hydrogène, on installe une petite colonne d'échangeur de cations séparée, très bien régénérée par un fort excès d'acide à chaque régénération de l'unité principale.

Pendant la phase de production, un échantillon d'eau continu provenant de l'unité principale passe au travers de la colonne témoin et la différence de conductivité est mesuré en permanence. Ce chiffre est faible et demeure constant ou diminue pendant la durée de l'opération. Une augmentation soudaine indique la fin du cycle, signalant le percement de l'installation.

## 4.2.7 Mesure du pH

Bien qu'il soit facilement mesurable, le pH n'est pas un paramètre très utile pour le contrôle de l'installation. En effet, de l'eau déminéralisée sans aucun tampon chimique peut donner des résultats variables en pH, et la variation en fin de cycle est moins nette et plus aléatoire que la variation de conductivité.

## 5. Matériels et méthodes

### 5.1 Données de base

#### 5.1.1 Analyse d'eau traitée

Au niveau de l'unité TED de MP1, l'eau traitée doit répondre à certain critère, comme il montre le tableau suivant :

**Tableau 9 : Critères de l'eau traitée**

<b>Filtre à Charbon Actif (CAG)</b>	<b>Absence de matière en suspension</b>
	Chlore libre non détectable
<b>Déminéralisation primaire</b>	Conductivité : 10 $\mu\text{S cm}^{-1}$
	Silice résiduelle : 100 $\mu\text{g/L}$
<b>Déminéralisation finale « MXED BED » (MB)</b>	Conductivité : 0.2 $\mu\text{S cm}^{-1}$
	Silice résiduelle : 15 $\mu\text{g/L}$

#### 5.1.2 Agent de régénération

**Tableau 10 : caractéristiques des agents de régénération**

Acide sulfurique		Soude caustique	
Produit commercial	Acide sulfurique technique $\text{H}_2\text{SO}_4$	Produit commercial	Hydroxyde de sodium NaOH
Concentration	92%	Concentration	42%
Fer	<50 ppm	NaOH	98%
Chlorure	<5 ppm	Na <sub>2</sub> O	76%
Arsenic	<0.2 ppm	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3000 ppm
Cuivre	<1 ppm	NaCl	10000 ppm
Manganèse	<0.5 ppm	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2500 ppm
Plombe	<5 ppm	Manganèse	0.5 ppm
		NaClO <sub>3</sub>	5 ppm
		Plombe	0.5 ppm
Contaminants organiques	<100 ppm O <sub>2</sub>	Fer	10 ppm
Sédiments	0	Nickel	1 ppm
Inhibiteurs	0	Silice	50 ppm
Oxydants	0	TH	0.5 méq/L
		Cuivre	0.2 Ppm

## 5.2 Principe de calcul d'un échangeur d'ions

### 5.2.1 Elément de calcul d'un échangeur d'ions

Pour dimensionner un échangeur d'ions, on doit connaître :

- ⊕ Salinité totale de l'eau à traiter (ST en méq/L)
- ⊕ Débit d'eau à traiter ( $m^3/h$ )
- ⊕ Capacité de résine à installer (Cp en méq/L)

Connaissant ces trois paramètres on pourra déterminer le volume de la résine nécessaire (VR).

Réciproquement, si on a le volume de la résine (VR) installé, la capacité de la résine (CP) et la salinité totale (ST) de l'eau à traiter on pourra déterminer le débit ou la quantité d'eau traitée.

### 5.2.2 Mise en œuvre

Type d'appareil industriel pour échange d'ions - Equipements internes - soit :  
A = entrée d'eau brute et sortie d'eau de soulèvement, B = entrée du régénérant,  
C = sortie de l'eau traitée et entrée de l'eau de soulèvement, G = purge d'air, D = résine, E = trou d'homme, F = hublot, K = plancher à crépines, L = bride ou flasque d'accouplement.

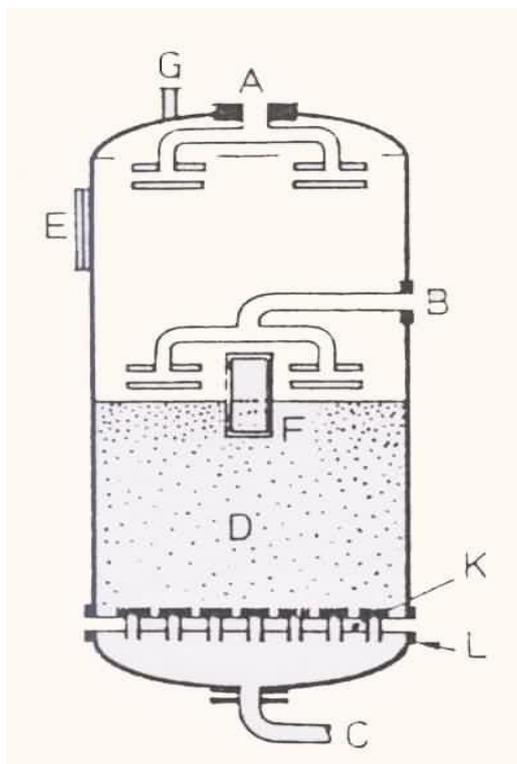


Figure 8 : Schéma d'un échangeur d'ion

### 5.2.3 Calculs d'une installation de déminéralisation

Les éléments suivants sont, en principe, nécessaires et suffisants au calcul des volumes de résine.

- Débit horaire (Q, en m<sup>3</sup>),
- Temps de fonctionnement, 1 cycle (TF, en heures),
- Volume total d'eau à traiter (V, en m<sup>3</sup>),
- SAF (Sels d'Acides Forts) de l'eau "brute", en °F/litre d'eau,
- TAC de l'eau brute, en °F/litre,
- Teneur en silice (SiO<sub>2</sub>), en °F/litre,
- Capacité d'échange de la résine (CE, en °F/litre de résine).

#### ⊕ *Echangeur d'anions.*

VR<sub>A</sub> (volume de résine anionique), en litres.

- Résine faiblement basique (Af) :
  - $V = Q \times TF$ ,
  - $VR_{Af} = [V \times SAF] / CE$
- Résine fortement basique (AF) :
  - $V = Q \times TF$ ,
  - $VR_{AF} = [V \times (SAF + TAC + SiO_2)] / CE$

#### ⊕ *Echangeur de cations*

- la salinité totale de référence s'obtient en additionnant TAC et SAF,
- VR<sub>C</sub>: volume de résine cationique, en litres.

- Résine fortement acide (CF) :
  - $V = Q \times TF$ ,
  - $VR_C = [(V \times (TAC+SAF))] / CE$

# Partie II :

# Etude expérimentale

## I. Performance de l'unité de décantation et de filtration

Les analyses physico-chimique de l'eau brute et de l'eau filtrée vont permettre d'évaluer l'efficacité des flocculant et coagulant utilisés pour obtenir des eaux filtrées.

**Tableau 11 : Analyses chimiques de l'eau brute et de l'eau filtrée**

Compositions de l'eau	Analyse de l'eau brute		Analyse de l'eau filtrée	
	mg/L	méq/L	mg/L	méq/L
Calcium Ca <sup>2+</sup>	24	1,2	24	1,20
Magnésium Mg <sup>2+</sup>	42	3,5	42	3,50
Sodium Na <sup>+</sup>	240	10,44	240	10,44
Potassium K <sup>+</sup>	4	0,1	4	0,1
Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	107	2,23	124	2,58
Chlorures Cl <sup>-</sup>	305	8,6	305	8,6
Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	0	0	0
Bicarbonates HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	275	4,5	220	3,6
Silice (SiO <sub>2</sub> + SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	8	0,13	8	0,13
CO <sub>2</sub> libre	5	0,11	13	0,3
Matières organiques (KMnO <sub>4</sub> )	15,5	-	12	-
Turbidité (NTU)	11	-	0,5	-
pH	8		7,9	

**Tableau 12 : TH, TAC et SAF de l'eau brute**

<b>Dureté totale (TH) En méq/L</b>	<b>6.39</b>	<b>0.02</b>
<b>Alcalinité complet (TAC) En méq/L</b>	<b>3.00</b>	<b>0.63</b>
<b>Sels d'Acides Forts (SAF) En méq/L</b>	<b>14.41</b>	

## **II. Discussions des résultats**

Les différentes analyses effectuées sur les échantillons d'eau brute et de l'eau filtrée, ont permis de révéler les caractéristiques de l'eau produite par des paramètres descriptifs de la qualité physico-chimique.

On peut constater, d'après les tableaux ci-dessus que la filtration des eaux brutes permis :

- Une diminution des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), qui étaient a 275 mg/L dans l'eau brute et passent à 200 mg/L dans l'eau filtrée.
- Une diminution de taux de matières organiques et de turbidité dans la composition de l'eau traitée.
- Et d'autre part une augmentation de  $\text{CO}_2$  libre dans l'eau filtrée qui est produit au cours de la phase de coagulation.
- Un pH neutre soit pour l'eau filtrée soit eau brute.
- Les valeurs des analyses physiques (TH, TAC, SAF) change cela conduit donc à une élimination partielle de la somme des ions mais sans action sur la dureté permanente

Donc en peut dire que le traitement par le flocculant et le coagulant a permis :

- ✓ L'élimination presque totale de la turbidité de l'eau brute
- ✓ La réduction de la dureté de l'eau brute
- ✓ La réduction de l'alcalinité de l'eau brute d'environ 20%

### III. Comparaisons entre les performances des chaînes de déminéralisations

#### 1. Détermination du volume d'eau et des réactifs de régénération

##### 1.1. Ligne de déminéralisation Z

###### a- Echangeur de cations 28ZF02

- ✓ Volume de résine cationique :  $VR = 18000$  L
- ✓ Capacité utile :  $Cp = 0.8$  éq/L
- ✓ Salinité totale :  $ST = TAC + SAF = 17.41$  méq/L

Le volume d'eau à traiter  $V_e$  par cycle est :

$$V_e = (VR * Cp) / ST = (18000 * 0.8) / 17.41 = 827 \text{ m}^3$$

La quantité d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) nécessaire pour la régénération :

A un niveau de régénération de 120 g de  $H_2SO_4$  /L à 100% on aura besoin de :

$$\text{Quantité} = 120 * 18000 = 2160 \text{ kg de } H_2SO_4 \text{ à } 100\%, \text{ soit } 2203 \text{ L de } H_2SO_4 \text{ à } 98\%$$

###### b- Echangeur d'anion faible 28ZF03

- Volume de résine cationique :  $VR = 10000$  L
- Capacité utile :  $Cp = 0.9$  éq/L
- Sels d'Acides Forts :  $SAF = 14.41$  méq/L

Le volume d'eau à traiter  $V_e$  par cycle est :

$$V_e = (VR * Cp) / SAF = (10000 * 0.9) / 14.41 = 625 \text{ m}^3$$

La quantité de soude caustique (NaOH) nécessaire pour la régénération :

A un niveau de régénération de 60 g de NaOH /L à 100% on aura besoin de :

$$\text{Quantité} = 60 * 10000 = 600 \text{ kg de NaOH à } 100\%, \text{ soit } 930 \text{ L de NaOH à } 45\%$$

###### c- Echangeur d'anion forts 28ZF04

- Volume de résine cationique :  $VR = 1300$  L
- Capacité utile :  $Cp = 0.5$  éq/L
- $TAC = 3$  méq/L

Le volume d'eau à traiter  $V_e$  par cycle est :

$$V_e = (VR * Cp) / TAC = (1300 * 0.5) / 3 = 217 \text{ m}^3$$

La quantité de soude caustique (NaOH) nécessaire pour la régénération :

A un niveau de régénération de 40 g de NaOH /L à 100% on aura besoin de :

Quantité =  $40 \times 1300 = 52$  kg de NaOH à 100%, soit 81 L de NaOH à 45%

#### **d- Echangeur à lit de mélange 28ZF05**

Volume de résine cationique :

VR= 650 (LANXESS S100) + 650 (LANXESS M800) = 1300 L

Capacité utile : Cp= 0.5 éq/L

L'échangeur à lit de mélange est prévu comme étape de finition. Son cycle de production peut durer jusqu'à 20 fois de la chaîne primaire.

Une fois épuisé, le lit de mélange est régénéré à des niveaux élevés pour garantir la pureté de l'eau désilicée à la sortie de l'anionique fort AF.

Ainsi, on utilise généralement, un taux de régénération de 150 g de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> /L à 100%, et un taux de régénération de 100 g de NaOH /L à 100%, ce qui donne des consommations supplémentaires des réactifs de :

**Acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>):**  $150 \times 650 = 98$  kg de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 100%, soit 100 L de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 98%

**Soude caustique (NaOH) :**  $100 \times 650 = 65$  kg de NaOH à 100%, soit 101 L de NaOH à 45%

## 1.2. Ligne de déminéralisation A,B et D

### a- Echangeur de cations 28A/B/DF02

- ✓ Volume de résine cationique : VR= 8300 L
- ✓ Capacité utile : Cp= 0.8 éq/L
- ✓ Salinité totale : ST=TAC + SAF= 17.41 méq/L

Le volume d'eau à traiter Ve par cycle est :

$$Ve = (VR * Cp) / ST = (8300 * 0.8) / 17.41 = 381 \text{ m}^3$$

La quantité d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) nécessaire pour la régénération :

A un niveau de régénération de 120 g de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L à 100% on aura besoin de :

$$\text{Quantité} = 120 * 8300 = 996 \text{ kg de H}_2\text{SO}_4 \text{ à 100\%, soit 1016 l de H}_2\text{SO}_4 \text{ à 98\%}$$

### b- Echangeur d'anion faible 28A/B/D F03

- Volume de résine cationique : VR= 5000 L
- Capacité utile : Cp= 0.9 éq/L
- Sels d'Acides Forts : SAF= 14.41 méq/L

Le volume d'eau à traiter Ve par cycle est :

$$Ve = (VR * Cp) / SAF = (5000 * 0.9) / 14.41 = 312 \text{ m}^3$$

La quantité de soude caustique (NaOH) nécessaire pour la régénération :

A un niveau de régénération de 80 g de NaOH/L à 100% on aura besoin de :

$$\text{Quantité} = 80 * 5000 = 400 \text{ kg de NaOH à 100\%, soit 620 L de NaOH à 45\%}$$

### c- Echangeur d'anion forts 28A/B/D F04

- Volume de résine cationique : VR= 4000 L
- Capacité utile : Cp= 0.38 éq/L
- TAC = 3 méq/L

Le volume d'eau à traiter Ve par cycle est :

$$Ve = (VR * Cp) / TAC = (4000 * 0.38) / 3 = 507 \text{ m}^3$$

La quantité de soude caustique (NaOH) nécessaire pour la régénération :

A un niveau de régénération de 15 g de NaOH/L à 100% on aura besoin de :

Quantité =  $15 \times 4000 = 60$  kg de NaOH à 100%, soit 93 L de NaOH à 45%

#### **d- Echangeur à lit de mélange 28A/B/D F05**

Volume de résine cationique :

VR= 1200 L de BAYER S100 + 800 L de BAYER MP500

Capacité utile :  $C_p = 0.5$  éq/L

L'échangeur à lit de mélange est prévu comme étape de finition. Son cycle de production peut durer jusqu'à 20 fois de la chaîne primaire.

Une fois épuisé, le lit de mélange est régénéré à des niveaux élevés pour garantir la pureté de l'eau désilicée à la sortie de l'anionique fort AF.

Ainsi, on utilise généralement, un taux de régénération de 150 g de  $H_2SO_4$ /L à 100%, et un taux de régénération de 100 g de NaOH /L à 100%, ce qui donne des consommations supplémentaires des réactifs de :

**Acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ):**  $150 \times 1200 = 180$  kg de  $H_2SO_4$  à 100%

Soit 184 L de  $H_2SO_4$  à 98%

**Soude caustique (NaOH) :**  $100 \times 800 = 80$  kg de NaOH à 100%

Soit 124 L de NaOH à 45%

## 2. Comparaison des performances des chaînes de déminéralisation

Ce tableau (tableau 13) montre le type et le volume de la résine des lignes de déminéralisations.

**Tableau 13 : Type et volume de la résine des lignes de déminéralisations**

		Caractéristiques des lignes			
		Echangeur cationique	Echangeur Anionique faible	Echangeur Anionique Fort	Echangeur MIXED-BED
Type et volume de résine	<b>Ligne A</b>	8300 (l) de BAYER S100	5000 (l) de BAYER MP64	4000 (l) de BAYER MP500	1200 (l) de BAYER S100 +800 (l) de BAYER MP500
	<b>Ligne B</b>	8300 (l) de BAYER S100	5000 (l) de BAYER MP64	4000 (l) de BAYER MP500	1200 (l) de BAYER S100 +800 (l) de BAYER MP500
	<b>Ligne D</b>	8300 (l) de BAYER S100	5000 (l) de BAYER MP64	4000 (l) de BAYER MP500	1200 (l) de BAYER S100 +800 (l) de BAYER MP500
	<b>Ligne Z</b>	18000 (l) de BAYER S100	10000 (l) de BAYER MP64	1300 (l) de BAYER MP500	650 (l) de BAYER S100 +650 (l) de BAYER MP500
	<b>Ligne H</b>	28700 (l) de LANXESS S100	16600 (l) de LANXESS MP64	1750 (l) de LANXESS MP500	2800(l) de LANXESS S100 + 2800(l) de LANXESS M800

Le tableau suivant (tableau 14) illustre de manière sommaire cette comparaison entre les caractéristiques théoriques et actuelles des lignes de déminéralisations A, B, D, Z et H

**Tableau 14 : Comparaison des performances des chaînes de déminéralisation des lignes de A, B, D, Z**

		Caractéristiques des lignes					
		Echangeur cationique		Echangeur Anionique faible		Echangeur Anionique Fort	
		Théorique	Actuelle	Théorique	Actuelle	Théorique	Actuelle
<b>Ligne A</b>	Volume de résine (Litres)	8300	8300	5000	5000	4000	4000
	Volume d'un cycle m <sup>3</sup>	381	365	312	369	507	295
	Taux de régénération en g de réactif à 100%/l de résine	120	129	80	50	15	13
	Quantité de réactif en Kg à 100%	996	1071	400	698	60	50
	Consommation spécifique en g de réactif à 100%/l d'eau traité	2.6	2.9	1.3	0.66	0.1	0.18
<b>Ligne B</b>	Volume de résine (Litres)	8300	8300	5000	5000	4000	4000
	Volume d'un cycle m <sup>3</sup>	381	445	312	382	507	304
	Taux de régénération en g de réactif à 100%/l de résine	120	129	80	50	15	13
	Quantité de réactif en Kg à 100%	996	1071	400	698	60	50
	Consommation spécifique en g de réactif à 100%/l d'eau traité	2.6	2.4	1.3	1.8	0.1	0.16
<b>Ligne D</b>	Volume de résine (Litres)	8300	8300	5000	5000	4000	4000
	Volume d'un cycle m <sup>3</sup>	381	376	312	326	507	289
	Taux de régénération en g de réactif à 100%/l de résine	120	129	80	50	15	13
	Quantité de réactif en Kg à 100%	996	1071	400	698	60	50
	Consommation spécifique en g de réactif à 100%/l d'eau traité	2.6	2.8	1.3	2.1	0.1	0.18
<b>Ligne Z</b>	Volume de résine (Litres)	18000	18000	10000	10000	1300	1300
	Volume d'un cycle m <sup>3</sup>	827	819	625	610	217	445
	Taux de régénération en g de réactif à 100%/l de résine	120	85	60	35	40	38
	Quantité de réactif en Kg à 100%	2160	1530	600	930	52	50
	Consommation spécifique en g de réactif à 100%/l d'eau traité	2.6	1.8	1	1.5	0.2	0.11

On peut constater, d'après le (tableau 14) ci-dessus que le volume d'eau produite par cycle des lignes de déminéralisation est normal pour des consommations spécifiques de soude caustique théoriques et les productions actuelles n'ont pas de sens du fait que les taux de régénération utilisés sont différents, c'est-à-dire qu'on consomme moins de réactif (soude caustique).

Toutefois, la consommation de l'acide sulfurique est augmentée d'environ trois fois de celle préconisée par le constructeur, c'est pour éviter l'épuisement prématuré du cationique qui assure à la fois la production d'eau déminéralisée totale et l'eau de régénération pour les autres échangeurs d'ions.

Cette étude comparative permet de dégager les faits suivants :

- ✓ la qualité de l'eau produite par les lignes à lit flottant est meilleure ;
- ✓ la qualité de l'eau produite par les lignes à lit fixe est moyenne.

## IV. Actions d'amélioration des performances des chaînes de déminéralisation

Pour augmenter la productivité des chaînes, il faut penser à améliorer la qualité de l'eau filtrée, conditions de régénération (concentration et température des réactifs), état des résines, et élimination du CO<sub>2</sub>.

### 1. Qualité d'eau filtrée

L'eau filtré ne doit contenir ni matière en suspension, ni algues, ni huiles, ni autres impuretés qui se fixeraient sur les résines et diminueraient leur capacité. Car les résines d'échange d'ions doivent rester propres pour fonctionner efficacement.

De plus, les matières organiques colmatent les sites actifs et empoisonnent la résine, alors, il faut procéder au nettoyage de la résine par un traitement appelé le détassage.

Un intérêt particulier doit être donc, donné à l'installation de prétraitement de l'eau brute, c'est-à-dire, l'installation de décantation et de filtration d'eau brute :

- ⊕ Suivi de la turbidité de l'eau (visuel et par analyse).
- ⊕ Contrôle de la préparation et de dosage des réactifs (Sulfate d'alumine, NALCO et Super flocc).
- ⊕ Contrôle périodique de l'état de remplissage des filtres à gravier.

## 2. Conditions de régénération

### ☞ Concentration de régénération

Les concentrations d'acide sulfurique 2%, 4% et 8% utilisées pour la régénération des échangeurs cationiques ne sont pas choisies au hasard, mais pour éviter la précipitation et l'enrobage de la résine par les sulfates de calcium.

Toute fausse manœuvre lors de dosage des réactifs peut avoir des conséquences néfastes pour la tenue de la résine et sa capacité de production.

Par conséquence, il faut remettre en état de marche le système de réglage des courses des pompes doseuses pour avoir la concentration correcte.

### ☞ Température de régénération

La capacité utile de la résine varie avec la température du régénérant qui améliore la cinétique chimique de la réaction.

Le constructeur a préconisé une température de 40°C d'eau de dilution de soude caustique pour la régénération des échangeurs anioniques. Il a prévu pour ça deux échangeurs de chaleur 28PE/DE01 et même le conditionnement de la soude caustique dans les bacs de stockage pour éviter sa cristallisation à des températures inférieurs à 15°C.

Il est donc nécessaire de remettre en état de marche les dits échangeurs de chaleurs.

## 3. Etat des résines

Selon la documentation et les fiches techniques des fournisseurs de la résine échangeuse d'ion, la résine perd 3% de sa capacité annuellement. Il faut donc renouveler la résine chaque 5 ans.

## 4. Elimination du CO<sub>2</sub>

Les dégazeurs de CO<sub>2</sub> sont utilisés dans les installations de déminéralisation afin d'éliminer, par aération, le gaz carbonique formé à la sortie d'échangeur d'ions cationique par transformation de l'acide carbonique en dioxyde de carbone.

Il est souhaitable d'installer des dégazeurs de CO<sub>2</sub> au niveau des anciennes lignes A, B et D comme la ligne Z

## V. Méthodes de régénération

La plupart des résines échangeuses d'ions sont utilisées en colonnes. Le procédé d'échange d'ions est, par essence, discontinu : une phase d'épuisement (ou de saturation) est suivie d'une phase de régénération des résines épuisées. Il y a deux méthodes principales de régénération :

- ☞ La régénération à co-courant, où les fluides percolent du haut vers le bas de la colonne pendant la phase de saturation et aussi pendant la phase de régénération (**détail voir annexe**).
- ☞ La régénération à flux inversé (dite à "contre-courant") où les fluides percolent alternativement du haut vers le bas et du bas vers le haut pendant la phase d'épuisement et la phase de régénération (**détail voir annexe**).

Pour améliorer les performances des chaînes de déminéralisation nous proposons la régénération à contre-courant offre deux avantages décisifs :

1. L'eau ou (**la solution**) traitée a une qualité bien meilleure que dans le cas du co-courant en raison d'une fuite ionique très faible.
2. La quantité de régénérant requise est moindre, puisque les ions contaminants n'ont pas à être "poussés" à travers la totalité du lit, et la qualité de l'eau traitée est quasiment indépendante de la quantité de régénérant.

# Conclusion générale

Au Maroc Phosphore I l'alimentation des unités sulfuriques en eau déminéralisée et l'alimentation du circuit des eaux de chaudières en eau désilicée d'appoint est assurée par 5 lignes de déminéralisation dont la vérification de leur dimensionnement a donné les résultats suivants :

Sur la base de la composition de l'eau à la construction, les lignes sont largement dimensionnées, elles sont aussi compatibles avec la composition actuelle de l'eau à traiter.

Cependant, la consommation du complexe en eau déminéralisée, et surtout en eau désilicée d'appoint est très variable et dépasse largement la capacité de production horaire dans une large mesure.

Afin de palier à ce manque, il faut améliorer les actions suivantes :

- ✓ les quantités de résines mises en œuvre doivent augmenter pour dépasser et de loin, les quantités installées à la construction, surtout que la quantité d'eau d'appoint produit actuellement est proche à la quantité déterminée théoriquement.
- ✓ De faire des actions d'amélioration et d'économie des réactifs en surveillant en continu les processus de décantation et de filtration d'eau brute pour préserver la capacité de la résine et assurer une bonne exploitation des chaînes de déminéralisation.
- ✓ L'installation de nouveaux appareils de suivi des paramètres physico-chimiques, notamment le turbidimètre, et leur entretien régulier est nécessaire.

## Références bibliographiques

- [www.groupeOCP.ma](http://www.groupeOCP.ma): L'historique de l'OCP, consulté le 09 mars 2013.
- [www. Gls.fr](http://www.Gls.fr): le mélange rapide et la floculation dans la production d'eau potable, consulté le 21 mars 2013.
- Ellassri B. -Possibilité de transformer les lignes co-courant à contre-courant. Rapport interne de l'OCP, 2006, pp : 49-58.
- [www.babkhouribga.com](http://www.babkhouribga.com): OCP, les travaux du pipeline, consulté le 16 mars 2013.
- Documentation interne de Groupe Office Cherifien des Phosphates, direction des industries chimiques de Safi, transfert d'expertise formalisation du savoir et savoir-faire, operateurs pompe d'eau de mer, Publié en mai 2002, pp : 1-18
- Documentation interne de Groupe Office Cherifien des Phosphates, direction des industries chimiques de Safi, transfert d'expertise formalisation du savoir et savoir-faire, operateurs unité déminéralisation d'eau, Publié en mai 2002, pp : 1-18

# Annexes

## Méthodes de régénération

Nous donnerons aussi des informations sur les quantités de régénérant, sur la régénération en série et sur les types et concentrations des régénérants.

### 1. Régénération à co-courant (CFR)

Cette technique est la plus ancienne : la solution à traiter passe du haut vers le bas de la colonne, et la solution régénérant passe dans le même sens.

Le problème est que les résines fortement acides et fortement basiques ne sont pas converties totalement sous la forme H et OH respectivement à la fin de la régénération, car une conversion complète exigerait des quantités très grandes de régénérant. Il en résulte que les couches inférieures du lit de résine sont peu régénérées, alors que les couches supérieures le sont très bien. Au début de la phase d'épuisement suivante, la fuite ionique est élevée, car les ions non éliminés au bas de la colonne sont déplacés par les ions  $H^+$  (ou  $OH^-$ ) produits par l'échange d'ions dans les couches supérieures.

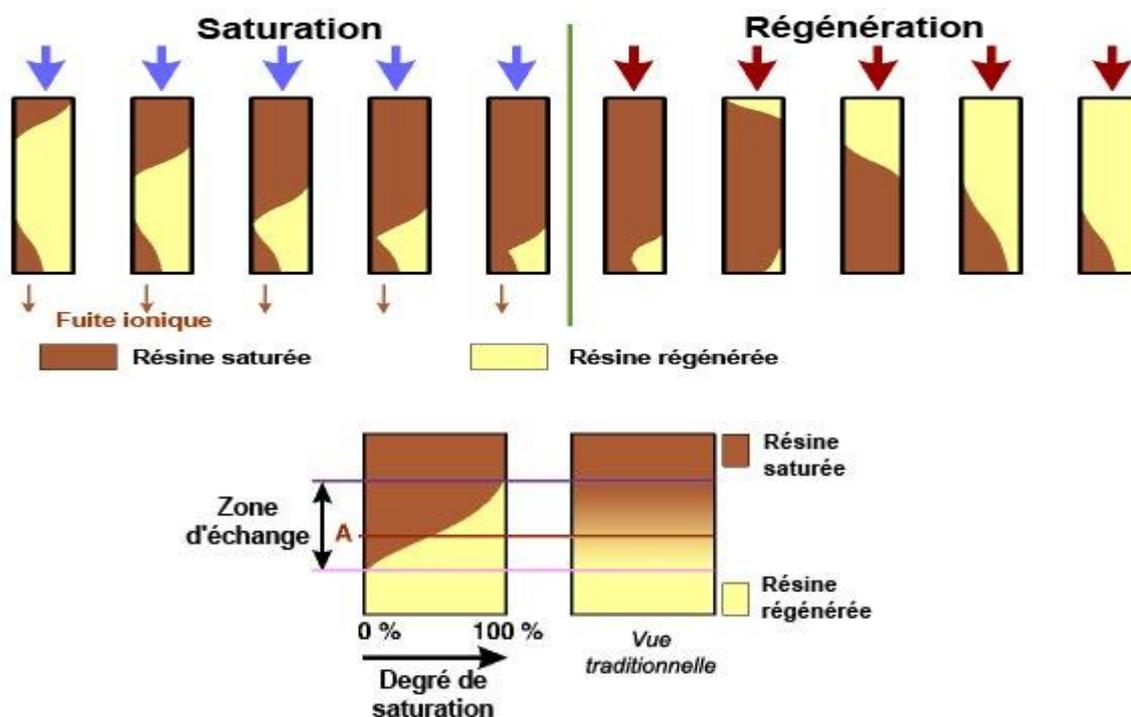


Figure 9 : Principe de régénération à co-courant

La zone sombre dans l'image ci-dessus représente la proportion de résine épuisée, la zone jaune claire celle de résine régénérée. L'image de droite illustre ce que je veux dire : par exemple, au niveau A dans le lit de résine, la résine est 50% régénérée et 50% saturée. Au-dessus de la zone d'échange, la résine est totalement saturée, et en dessous de la zone d'échange elle est (dans cette petite image) totalement régénérée.

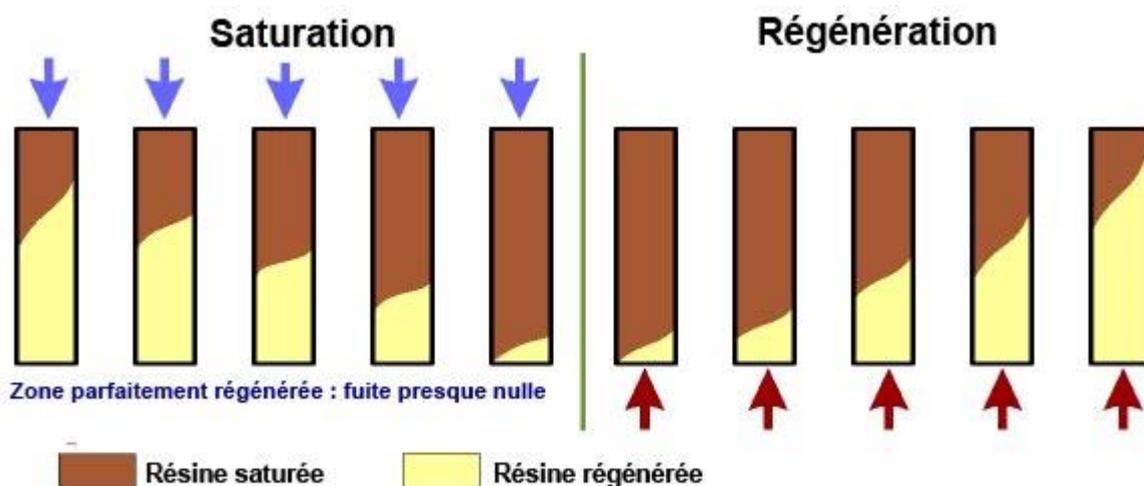
Si l'on régénère à co-courant, la seule façon de réduire la fuite permanente est d'augmenter la quantité de régénérant afin de laisser moins de résine saturée dans le bas de la colonne à la fin de la régénération.

## 2. Régénération à flux inversé (RFR)

C'est ce que l'on appelle communément régénération à contre-courant, bien que cette expression ne soit pas strictement correcte, puisque le lit de résine ne se meut pas. Quoiqu'il en soit, dans cette seconde technique la solution régénérant percole dans le sens inverse du liquide à traiter. Il y a deux cas pour cette régénération à contre-courant :

1. Saturation de haut en bas et régénération de bas en haut, comme dans les procédés de blocage du lit à l'air ou à l'eau, ou les procédés à lits compacts.
2. Saturation de bas en haut et régénération de haut en bas, comme dans les procédés à lits flottants.

Dans tous les cas de régénération à flux inversé, le régénérant n'a pas besoin de pousser les ions chargés sur la résine à travers la totalité du lit, puisqu'il suffit de les repousser de là où ils sont venus. Les couches les moins saturées sont régénérées en premier, et seront donc les mieux régénérées au début de la phase d'épuisement suivante :



Ou dans le cas de saturation de haut en bas et de régénération de bas en haut (lits flottants) :

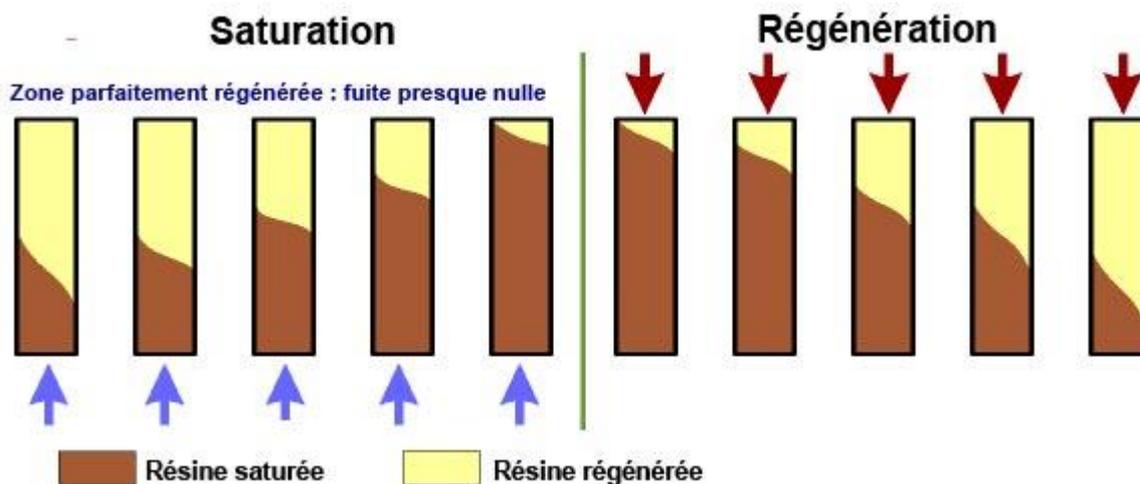


Figure 10 : Principe de régénération à contre-courant

À la fin de la régénération, la couche la moins bien régénérée à co-courant est celle d'où sort l'eau traitée, alors qu'à contre-courant la couche de sortie est la mieux régénérée. C'est pourquoi à co-courant les contaminants du bas de la colonne "fuient" dans l'eau traitée, particulièrement en début de cycle, en raison d'un effet d'auto-régénération, tandis que dans le cas du contre-courant tous les ions contaminants d'une couche de résine sont éliminés par la couche de résine immédiatement inférieure.

- Le graphique suivant montre la fuite typique observée pendant la phase d'épuisement (par exemple, la conductivité en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), mais ce peut être n'importe quel autre fuite ionique selon le procédé d'échange d'ions considéré). La fuite ionique obtenue en régénération à contre-courant est habituellement si basse qu'elle ne dépend pas de la quantité de régénérant utilisé. En régénération à co-courant, des fuites faibles ne peuvent être atteintes qu'au prix d'une forte consommation de régénérant.

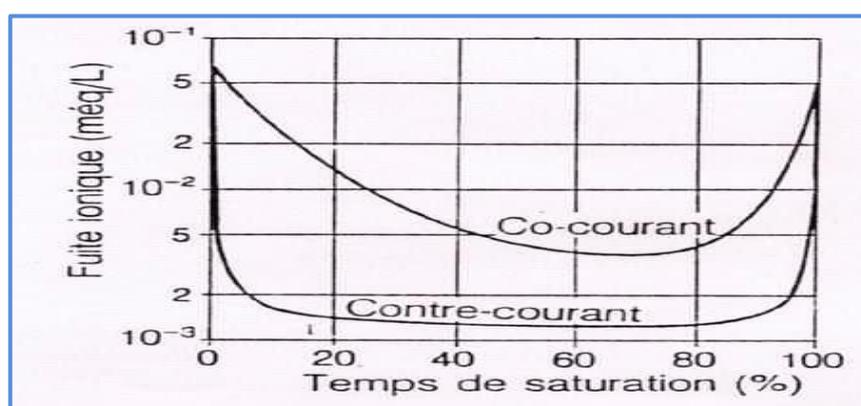
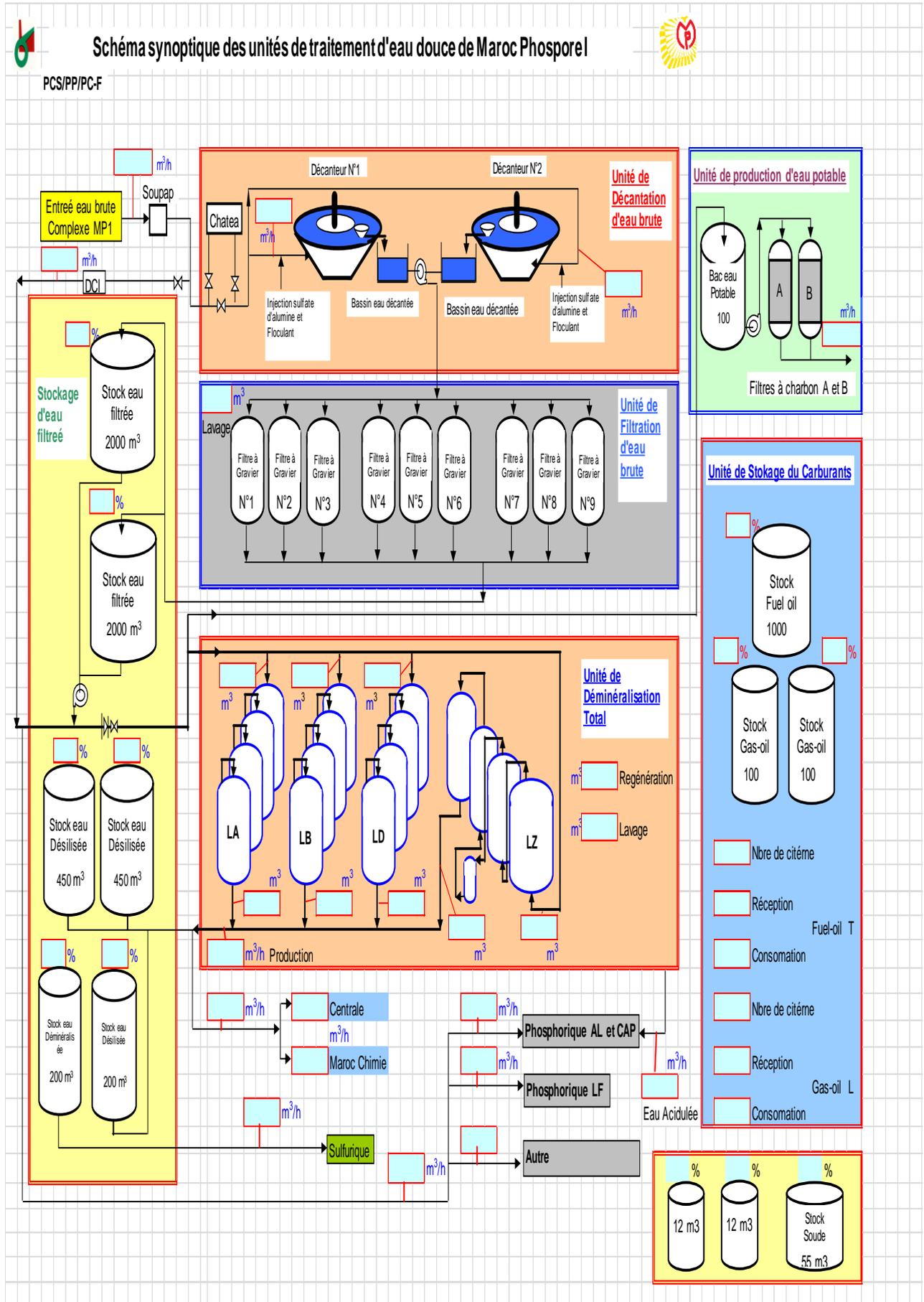
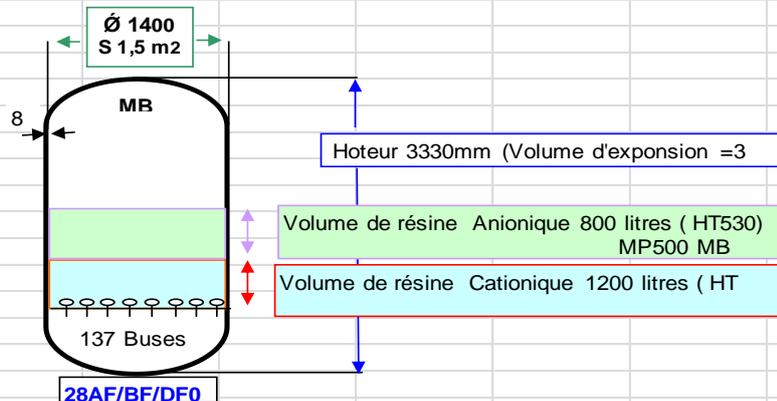
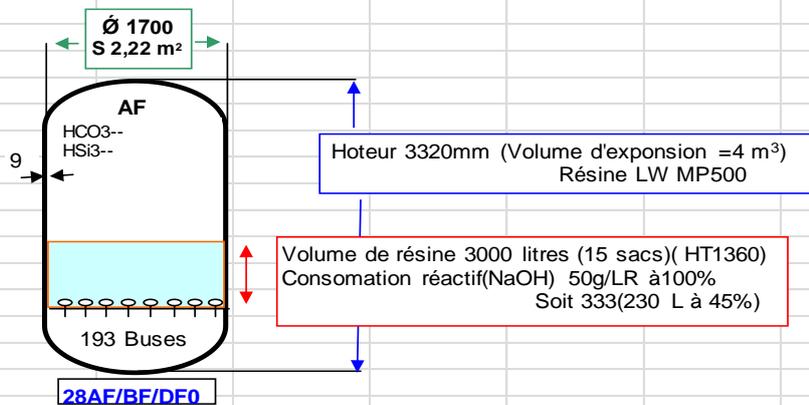
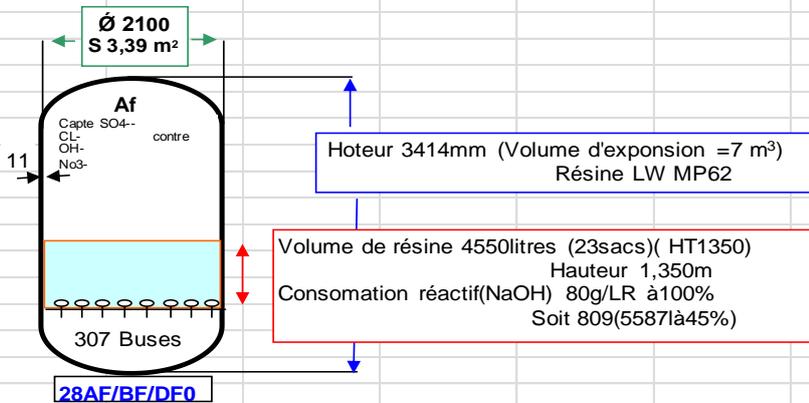
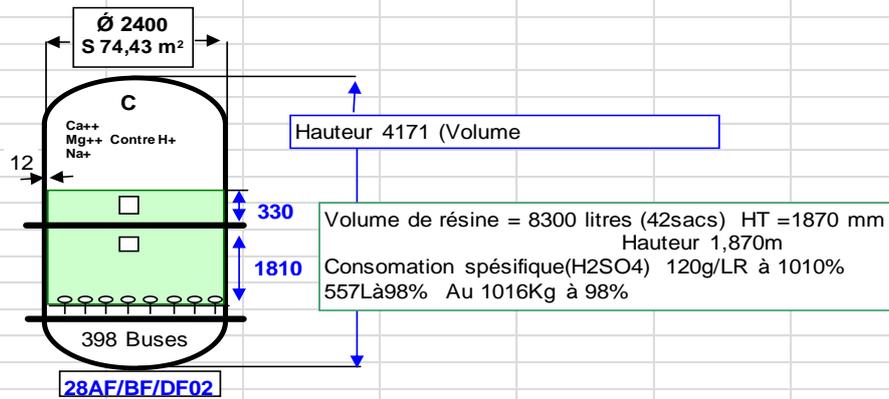


Figure 11 : fuite ionique en CFR et RFR

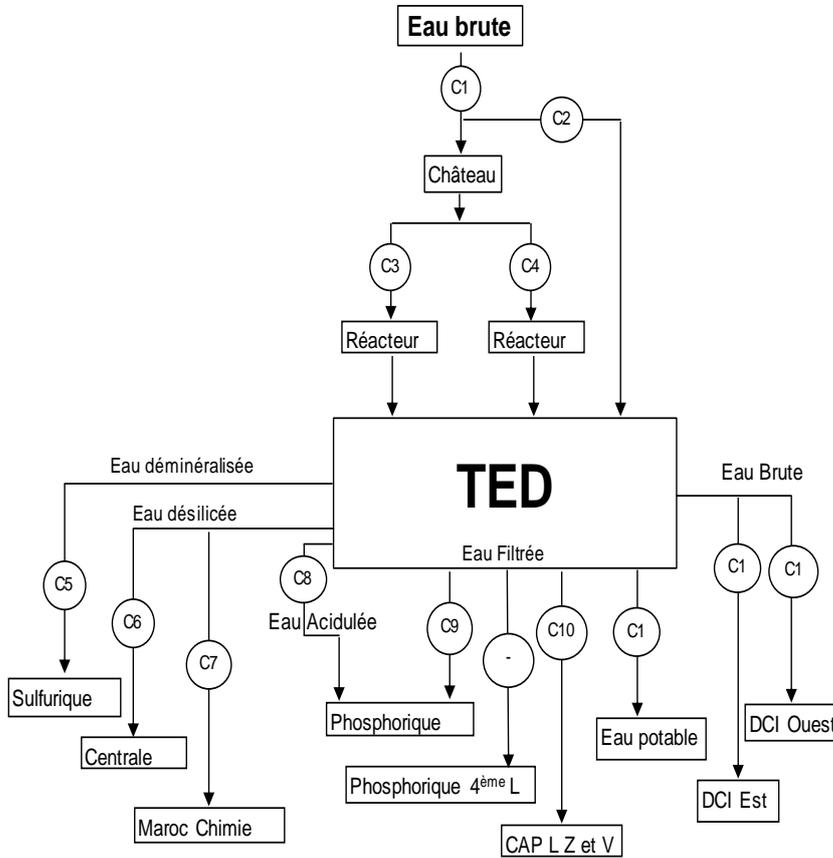


## Caractéristiques des échangeurs AL





### Compteurs installés au TED



Etat des compteurs		
Compteurs		Etat
C1	Eau brute	Sce
C2	DCI	Sce
C3	Eau brute R1	Sce
C4	Eau brute R2	Sce
C5	Eau déminéralisée	H Sce
C6	Eau désilicée centrale	H Sce
C7	eau désilicée MC	Sce
C8	Eau acidulée Phos AL	Sce
C9	Eau filtrée Phos AL	Sce
C1	Eau filtrée LZ et LV	Sce
C1	Eau potable	Sce
C1	DCI Est	Sce
C1	DCI Ouest	Sce
-	Pas de Cpt Phos LF	-

Code:F-QSE-5.5.3 - C101.00.01 Version: 6 du 01 -12-2004